



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMEN UNJUK KERJA  
KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR  
DENGAN PENAMBAHAN REFLEKTOR  
YANG MEMPUNYAI VARIASI SUDUT  
KEMIRINGAN KOLEKTOR ( $\beta$ ) DAN  
SUDUT KEMIRINGAN REFLEKTOR  
( $\theta_r$ )(STUDI KASUS JURUSAN TEKNIK  
MESIN ITS)**

**WILDAN FARIZKY ARSY  
NRP 2111100152**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TM141585**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SOLAR  
COLLECTOR PERFORMANCE WITH  
REFLECTOR ADDITION WHICH HAVE  
VARIATIONS OF THE ANGLE OF INCLINATION  
COLLECTOR ( $\beta$ ) AND THE ANGLE OF  
INCLINATION REFLECTOR ( $\theta_r$ )(CASE TUDY  
OF MECHANICAL ENGINEERING DEPT. OF  
ITS)**

**WILDAN FARIZKY ARSY**  
**NRP. 2111100152**

**Academic Supervisor**  
**Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMEN UNJUK KERJA KOLEKTOR  
SURYA PLAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN  
REFLEKTOR YANG MEMPUYAI VARIASI SUDUT  
KEMIRINGAN KOLEKTOR ( $\beta$ ) DAN SUDUT  
KEMIRINGAN REFLEKTOR ( $\theta_r$ ) (STUDI KASUS  
JURUSAN TEKNIK MESIN FTI-ITS SURABAYA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**WILDAN FARIZKY ARSY**  
NRP. 2111 100 152

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr.Ir.Djatismiko Ichsani, M.Eng (Pembimbing)  
(NIP. 195310191979031002)
2. Dr.Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo. ME (Penguji I)  
(NIP. 195312191981031001)
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST,MT (Penguji II)  
(NIP. 197301161997021001)
4. Aida Annisa Amin Daman, ST,MT (Penguji III)  
(NIP. 2100201405002)

**SURABAYA**  
**Juli, 2015**

**STUDI EKSPERIMEN UNJUK KERJA KOLEKTOR  
SURYA PLAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN  
REFLEKTOR YANG MEMPUNYAI VARIASI SUDUT  
KEMIRINGAN KOLEKTOR ( $\beta$ ) DAN SUDUT  
KEMIRINGAN REFLEKTOR ( $\theta_r$ ) (STUDI KASUS  
JURUSAN TEKNIK MESIN ITS)**

**Nama** : WILDAN FARIZKY ARSY  
**NRP** : 2111100152  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani,M.Eng

**ABSTRAK**

*Energi matahari adalah sumber energi yang tak terbatas .Salah satu metode untuk memanfaatkan energi matahari adalah menggunakan kolektor surya. Jenis kolektor surya yang umum digunakan adalah kolektor surya plat datar. Cara kerja dari kolektor surya sendiri yaitu , radiasi matahari diserap oleh plat absorber dan kemudian di transfer ke fluida yang mengalir di dalam pipa di atas plat absorber. Posisi matahari yang selalu berubah sepanjang hari menyebabkan besarnya energi matahari yang dapat diserap oleh kolektor surya setiap waktunya berbeda. Pengoptimalan jumlah energi matahari yang dapat diserap oleh plat absorber dapat dilakukan dengan penambahan reflektor yang berguna untuk memantulkan radiasi matahari ke plat absorber sehingga dapat meningkatkan efisiensi kolektor surya secara keseluruhan.*

*Sistem kolektor surya yang dirancang adalah kolektor surya plat datar dengan penambahan dua buah reflektor pada sisi barat-timur kolektor. Plat absorber dan reflektor memiliki dimensi yang sama yaitu, panjang 1500 mm dan lebar 750 mm. Insulasi terbuat dari styrofoam dengan tebal 50 mm. Diameter luar pipa kolektor sebesar 12,7 mm dan diameter dalam sebesar 11,4 mm. Tinggi kolektor 100 mm dan jarak antara plat absorber dengan Glass Cover sebesar 50 mm . Pengambilan data akan*

*dilaksanakan selama 9 hari dari pukul 07.00 – 17.00 dengan memvariasikan sudut kolektor ( $\beta$ ) , sebesar  $0^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $13^\circ$  dan sudut reflektor ( $\theta_r$ ) sebesar  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $70^\circ$ .*

*Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah , sudut reflektor ( $\theta_r$ ) yang paling baik untuk tiap variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) adalah  $\theta_r = 50^\circ$ . Nilai  $Q_{loss}$  berbanding lurus dengan temperatur plat absorber, dimana semakin tinggi nilai temperatur plat absorber , maka semakin besar pula  $Q_{loss}$ -nya. Nilai  $Q_{useful}$  dan efisiensi paling tinggi diperoleh untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $13^\circ$  dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  dengan nilai masing-masing sebesar 1015,77 Watt dan 14,20%.*

***Kata kunci : radiasi , matahari ,temperatur, kolektor surya***

**EXPERIMENTAL STUDY OF SOLAR COLLECTOR  
PERFORMANCE WITH REFLECTOR ADDITION  
WHICH HAVE VARIATIONS OF THE ANGLE OF  
INCLINATION COLLECTOR ( $\beta$ ) AND THE ANGLE  
OF INCLINATION REFLECTOR ( $\theta_r$ ) (CASE STUDY  
OF MECHANICAL ENGINEERING DEPT. OF ITS)**

**Name of Student : WILDAN FARIZKY ARSY**  
**NRP : 2111100152**  
**Department : S1 Mechanical Engineering Dept.**  
**FTI – ITS**  
**Supervisor : Prof.Dr.Ir.Djatismiko Ichsani,M.Eng**

***Abstract***

*Solar energy is one kind of energy source that the quantity is unlimited. One method to utilize solar energy is using solar collector. A kind of solar collector commonly used is a flat-plate solar collector. The workings of solar collector is absorbing the solar radiation by one of the part from solar collector called “absorber plate”, after that the heat from absorber plate has transferred into fluid which running inside copper pipe above the absorber plate. The position of sun always changed along the day , so the amount of solar radiation that can be absorbed by absorber plate always different. The addition of reflectors is one way which can be used to increase the amount of absorbed solar radiation so that it will enhance the efficiency from solar collector.*

*In this case, the design of flat-plate solar collector with reflector addition which facing east-west side. The absorber plate and reflectors has the same size, 1500 mm*

length and 750 mm width. The insulation has made from styrofoam which has 50 mm thickness. The copper pipe has 12,7 mm outside diameters and 11,4 mm inside diameters. The height of solar collector is 100 mm and it has 50 mm space between absorber plate and Glass cover. Data will be taken in 9 days from 07.00 am until 05.00 pm. This experiment has variations of angle of inclination collector ( $\beta$ ) that the values are  $0^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $13^\circ$  and angle of inclination reflector ( $\theta_r$ ) that the values are  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ .

The result from this experiment are, the most good angle of inclination reflector for every variations of angle of inclination collector is  $\theta_r = 50^\circ$ . The value of  $Q_{loss}$  is directly proportional to absorber plate temperature, where the higher of absorber plate temperature, the value of  $Q_{loss}$  also getting higher. The variations of angle of inclination collector ( $\beta$ ) =  $13^\circ$  and the angle of inclination reflector ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  has the highest value of  $Q_{useful}$  and collector efficiency among other variations, with the each value is 1015,77 Watt and 14,20%

**Keywords :** radiation, sun , temperature , solar collector

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Studi Eksperimen Unjuk Kerja Kolektor Surya dengan Penambahan Reflektor yang Mempunyai Variasi Sudut Kemiringan Kolektor ( $\beta$ ) dan Variasi Sudut Kemiringan Reflektor ( $\theta_r$ )(Studi Kasus Jurusan Teknik Mesin ITS). Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tersayang yang telah menjadi orang-orang terbaik dalam hidup penulis dan selalu memberikan doa dan dorongan dalam segala kondisi.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Ir.Budi Utomo Kukuh Widodo,ME ., Bapak Dr. Bambang Sudarmanta,ST.MT, dan Ibu Aida Annisa Amin Daman, ST.MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan,ME selaku dosen wali yang telah memberikan arahan-arahannya kepada penulis selama masa perkuliahan tahap Sarjana.
5. Indah Pratiwi , teman hidup yang selalu menemani, menyemangati , dan memberi pencerahan di saat sedang sulit dalam mengerjakan Tugas Akhir ini
6. Azwar , Tomi, Atus sahabat sekaligus partner tugas akhir yang telah berjuang bersama, bersabar, dan bergembira dalam



mengerjakan dan menyelesaikan setiap bagian dari Tugas Akhir ini.

7. Tenyom, Kombet, Agus, Warida, Rici, Ceri, Ardian, Ovi, Kukuh, Iqbal, Bobby, Colbut teman-teman laboratorium Perpindahan Panas yang selalu bersedia membantu.
8. Sahabat – sahabat penulis , Angga , Fitri , Viola , Erli , Berto , Agra , Reza , Icha , Fany , Anggi .
9. Teman-teman satu angkatan M54.
10. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, semoga ilmu yang disampaikan bermanfaat kedepannya bagi diri penulis maupun bagi bangsa dan negara.
11. Segenap karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, Pak Mul, Pak Agus, Bu Sri, Mbah No, terima kasih atas waktu dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis, semoga dapat terus membantu kedepannya bagi adik-adik di Jurusan Teknik Mesin ITS.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ABSTRAK**

**ABSTRACT**

**KATA PENGANTAR**..... i

**DAFTAR ISI**..... iii

**DAFTAR GAMBAR**..... vii

**DAFTAR TABEL**..... xi

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang.....1

1.2 Perumusan Masalah.....2

1.3 Batasan Masalah.....3

1.4 Tujuan.....4

1.5 Manfaat Penelitian.....4

1.6 Sistematika Penulisan.....4

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Penelitian Terdahulu.....7

2.1.1 Zoran T.Pavlovic,Ljiljana T. Kostic 2014,  
*Variation of Reflected Radiation from all  
Refectors of a flat plate solar collector*..... 7

2.1.2 Hiroshi Tanaka,2010,*Solar Thermal  
Collector Augmented by Flat Plate Booster  
Reflector : Optimum Inclination of Collector  
and Reflector*..... 10

2.2 Dasar Teori Perpindahan Panas..... 12

2.2.1Perpindahan Panas Konduksi..... 12

2.2.2Perpindahan Panas Konveksi..... 12

2.2.3Perpindahan Panas Radiasi..... 15

2.3 Teori Radiasi Matahari..... 16

2.3.1 Perhitungan Sudut Datang Matahari untuk  
Bidang Miring..... 17

2.3.2	Perhitungan Sudut Datang Matahari Untuk Bidang Horizontal.....	19
2.3.3	Perhitungan Radiasi Harian Rata-rata Matahari Di Ekstraterrestrial.....	20
2.3.4	Jenis Radiasi yang Masuk ke Permukaan Bumi.....	21
2.4	Dasar Teori Kolektor Surya Plat Datar.....	24
2.4.1	Pengertian Umum Kolektor Surya Plat Datar.....	24
2.4.2	Analisa Kerugian Panas pada Kolektor Surya Plat Datar.....	26
2.4.2.1	Analisa Tahanan Termal pada Bagian Atas Kolektor Surya ( $U_t$ ).....	27
2.4.2.1.1	Kerugian Panas Konveksi dan Radiasi antara Plat Absorber dan <i>Glass Cover</i> .....	28
2.4.2.1.2	Kerugian Panas Konveksi dan Radiasi antara <i>Glass Cover</i> dan Lingkungan.....	30
2.4.2.2	Analisa Tahanan Termal pada Bagian Bawah Kolektor Surya ( $U_b$ ).....	31
2.4.2.2.1	Kerugian Panas Konduksi antara Plat Absorber dan Insulasi.....	32
2.4.3	Analisa Kerugian Panas Total pada Kolektor Surya ( $U_L$ ).....	32
2.4.4	Faktor Pelepasan Panas Kolektor ( $F_R$ ).....	33
2.4.5	Analisa Quseful (panas berguna) pada Kolektor Surya.....	33
2.4.6	Analisa Efisiensi Kolektor Surya.....	33
2.5	Analisa Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor.....	34

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Perencanaan Penelitian.....	39
3.2	Skema Instalasi Penelitian.....	40
3.3	Perencanaan dan Modifikasi pada Kolektor	

Surya.....	42
3.3.1 Bahan-bahan yang Digunakan.....	42
3.3.1.1 Plat Absorber.....	42
3.3.1.2 Pipa Kolektor.....	43
3.3.1.3 Insulasi.....	43
3.3.1.4 <i>Glass Cover</i> .....	43
3.3.1.5 Kerangka Kolektor.....	44
3.3.1.6 Reflektor.....	44
3.3.2 Perencanaan Sudut Kemiringan Kolektor Surya.....	44
3.3.3 Perencanaan Sudut Reflektor.....	46
3.3.4 Perencanaan Peletakan Thermocouple.....	49
3.4 Tahapan Penelitian.....	50
3.5 Data Perencanaan dan Peralatan Penelitian.....	51
3.5.1 Parameter yang Diukur.....	51
3.5.2 Parameter yang Dicari.....	52
3.5.3 Grafik Penelitian.....	52
3.5.4 Peralatan Penelitian.....	53
3.6 Flowchart Penelitian.....	55

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Dimensi Kolektor Surya dan Reflektor.....	57
4.2 Data Hasil Penelitian.....	59
4.3 Contoh Perhitungan.....	59
4.4 Pembahasan Grafik.....	71
4.4.1 Pembahasan Grafik $I_T = f(\text{waktu})$ .....	71
4.4.2 Pembahasan Grafik $U_L = f(\text{waktu})$ .....	74
4.4.3 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ .....	78
4.4.3.1 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 0^\circ$ .....	78
4.4.3.2 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 7^\circ$ .....	80
4.4.3.3 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 13^\circ$ ...	82
4.4.4 Pembahasan Grafik Perbandingan Quseful Rata-rata dalam Sehari.....	84

4.4.5 Pembahasan Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-rata dalam Sehari.....	86
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	90
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Sudut Optimum Kolektor Surya dan Reflektor dalam Setahun.....	11
<b>Tabel 2.2</b>	Daftar Nilai $n$ dalam Satu Tahun.....	17
<b>Tabel 2.3</b>	Faktor Koreksi terhadap Kondisi Cuaca.....	23
<b>Tabel 3.1</b>	Tabel Pengambilan Data.....	53
<b>Tabel 4.1</b>	Data pada Variasi ( $\beta$ ) = $0^\circ$ dan ( $\theta_r$ ) = $50^\circ$ .....	60
<b>Tabel 4.2</b>	Data $Q_u$ overall.....	69
<b>Tabel 4.3</b>	Nilai IT Total untuk Tiap Variasi.....	70
<b>Tabel 5.1</b>	Nilai Quseful dan Efisiensi Total untuk Masing-masing Variasi.....	90

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema Kolektor Surya dengan Reflektor Sisi Atas dan Bawah (a) Skema Kolektor Suryadengan Reflektor Sisi Kiri dan Kanan (b).....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Nilai Sudut Optimal dari Kolektor Miring ( $\beta_{\max}$ ) , Sudut Optimal Reflektor Sisi Bawah ( $\alpha_{1\max}$ ) , Sudut Optimal Reflektor Sisi Atas ( $\alpha_{2\max}$ ) , versus hari dalam setahun N.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Nilai Sudut Optimal dari Kolektor Miring ( $\beta_{\max}$ ) , Sudut Optimal Reflektor Sisi Kiri ( $\gamma_{1\max}$ ) Versus Hari dalam Setahun N....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Variasi Radiasi Total Kolektor selama Hari Tertentu di Musim Panas : (1) Tanpa Reflektor $G_{net\_col}$ , (2) dengan Reflektor Sisi Bawah ( $r_1$ ) dan Atas ( $r_2$ ) pada Sudut Optimal $G_{net\_col,r1,r2}$ (3) dengan 4 Reflektor (Atas,Bawah, Kiri,Kanan) Pada Sudut Optimal.....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram Sistem Kolektor Surya dan Reflektor Dengan Variasi Sudut Kolektor ( $\theta_c$ ) dan Sudut Reflektor ( $\theta_r$ ).....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Sudut Optimum Kolektor ( $\theta_c$ ) dan Reflektor ( $\theta_m$ ) pada Rasio Panjang Kolektor dan Reflektor $Im/Ic = 1.0,2.0,3.0$ selama Setahun dengan $30^\circ$ N.....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Lintasan Bumi terhadap Matahari.....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Sudut-sudut yang Berpengaruh pada Radiasi Matahari.....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Radiasi Langsung,Radiasi Hamburan, dan Radiasi Pantulan.....	22
<b>Gambar 2.10</b>	Kolektor Surya Plat Datar Sederhana.....	25



<b>Gambar 2.11</b>	Skema Tahanan Termal pada Kolektor Surya Plat Datar Sederhana.....	27
<b>Gambar 2.12</b>	Skema Jaringan Kolektor Surya Sederhana.....	27
<b>Gambar 2.13</b>	Kolektor Surya (c) dengan Reflektor (r) di Satu Sisinya.....	34
<b>Gambar 2.14</b>	Geometri Kolektor dan Reflektor.....	36
<b>Gambar 2.15</b>	Nilai <i>View Factor</i> sebagai Fungsi dari Dimensi Kolektor dan Reflektor.....	36
<b>Gambar 3.1</b>	Kolektor Surya Plat Datar Sederhana.....	39
<b>Gambar 3.2</b>	Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor.....	40
<b>Gambar 3.3</b>	Sistem Kerja pemanas Air Tenaga Surya Tipe Pasif.....	41
<b>Gambar 3.4</b>	Skema Instalasi Penelitian Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor (a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping.....	42
<b>Gambar 3.5</b>	Lokasi Jurusan Teknik Mesin ITS Berdasarkan <i>Software</i> Google Maps.....	45
<b>Gambar 3.6</b>	Tabel Radiasi Matahari selama 1 Tahun (a), Grafik Radiasi Matahari dan Sudut Optimum selama 1 Tahun (b).....	46
<b>Gambar 3.7</b>	Teori Radiasi Pantulan dari Reflektor.....	46
<b>Gambar 3.8</b>	Skema Pantulan Radiasi Matahari Dengan Sudut Reflektor yang Berbeda.....	47
<b>Gambar 3.9</b>	Sudut Optimum Reflektor dengan Nilai Lebar Plat Absorber dan Lebar Kolektor yang Sama.....	48
<b>Gambar 3.10</b>	(a) Skema Variasi Sudut Reflektor (b) Skema Variasi Sudut Kolektor .....	48
<b>Gambar 3.11</b>	Skema Perencanaan Peletakan Thermocouple (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas, (c) Keterangan Data Temperatur yang Diambil.....	50

<b>Gambar 3.12</b>	Pyranometer.....	54
<b>Gambar 3.13</b>	Anemometer Digital.....	54
<b>Gambar 3.14</b>	Thermocouple Digital.....	54
<b>Gambar 4.1</b>	Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor.....	57
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Radiasi yang Jatuh pada Permukaan Kolektor Surya.....	72
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik $U_L = f(\text{waktu})$ untuk $\beta = 0^\circ$ .....	74
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik $U_L = f(\text{waktu})$ untuk $\beta = 7^\circ$ .....	75
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik $U_L = f(\text{waktu})$ untuk $\beta = 13^\circ$ .....	76
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 0^\circ$ .....	78
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 7^\circ$ .....	80
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$ untuk $\beta = 13^\circ$ .....	82
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Perbandingan Quseful rata-rata Dalam Sehari untuk Tiap Variasi.....	84
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-rata Sehari untuk Masing-Masing Variasi.....	86

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat setiap tahun seiring dengan kemajuan teknologi. Hal ini terjadi seiring dengan bertambahnya alat – alat yang memerlukan lebih banyak energi dan mulai menggantikan peran manusia sebagai pekerja manual dan konvensional. Secara umum, sumber energi dapat digolongkan menjadi dua yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui. Bahan bakar fosil merupakan contoh sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yang penggunaannya paling besar hingga saat ini. Namun sangat disayangkan, cadangan sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil kian menipis. Dari potongan berita di website *Kompas.com* Selasa, 18 November 2014 diketahui bahwa cadangan minyak Indonesia per akhir tahun 2013 berada pada posisi 3,46 miliar barel dan rata-rata produksinya saat ini sebesar 800.000 barel per hari. Dengan asumsi tingkat produksi berada pada kisaran saat ini dan tidak ada penemuan cadangan minyak baru, maka diperkirakan cadangan minyak Indonesia akan habis sekitar 11 tahun ke depan.

Oleh karena itu, diperlukan suatu sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi di masa yang akan datang.

Di bumi ini banyak terdapat sumber energi alternatif terutama yang dapat diperbaharui seperti energi matahari, panas bumi, gelombang laut, dan lain lain. Kata “alternatif” mengandung arti pengganti bahan bakar fosil yang umum dipakai. Namun dari sekian banyak jenis sumber energi alternatif, energi matahari merupakan sumber energi yang tidak terbatas dan cukup besar. Dengan letak Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa yaitu pada lintang  $6^{\circ}$  LU -  $11^{\circ}$  LS dan  $95^{\circ}$  BT -  $141^{\circ}$  BT, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah  $23,5^{\circ}$  LU dan  $23,5^{\circ}$  LS maka

wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 – 12 jam dalam sehari. Menurut pengukuran dari pusat Meteorologi dan Geofisika diperkirakan besar radiasi yang jatuh pada permukaan bumi Indonesia (khususnya Indonesia Bagian Timur) rata-rata kurang lebih sebesar  $5,1 \text{ kWh/m}^2\text{hari}$  dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan dengan menggunakan kolektor surya . Alat ini telah banyak diteliti untuk mengoptimalkan energi berguna yang bisa didapat. Alat konversi energi matahari berjenis kolektor surya plat datar ini umumnya digunakan sebagai pemanas air dalam skala kebutuhan rumah tangga. Cara kerjanya yaitu radiasi panas matahari diserap oleh plat absorber , kemudian panas dari plat absorber ditransfer ke air yang mengalir pada pipa yang terletak di bawah plat absorber. Desain sederhana dari kolektor surya yang umum digunakan masih menyebabkan rugi-rugi panas berupa konveksi ataupun pantulan radiasi dari plat absorber. Oleh karena itu, penulis berusaha untuk meningkatkan jumlah pantulan radiasi yang menuju ke plat absorber dengan studi eksperimen unjuk kerja kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor. Diharapkan penambahan reflektor dapat meningkatkan jumlah radiasi yang diserap oleh plat absorber sehingga meningkatkan performa dari kolektor surya itu sendiri.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Kolektor surya plat datar umumnya terdiri dari kaca penutup transparan, plat absorber, pipa pengalir fluida kerja dan bahan isolasi. Radiasi matahari menembus lapisan kaca penutup transparan dan menimpa permukaan plat absorber. Kemudian plat absorber akan mengubahnya menjadi energi panas. Energi panas tersebut digunakan untuk menaikkan temperatur fluida kerja di dalam pipa sehingga temperatur keluaran fluida kerja lebih tinggi daripada temperatur masukannya.

Radiasi matahari yang dapat diserap oleh kolektor surya intensitasnya berbeda setiap jamnya. Hal ini dikarenakan posisi

matahari yang selalu berubah. Ada beberapa cara untuk meningkatkan intensitas radiasi matahari yang diserap oleh plat absorber, salah satunya dengan menambahkan reflektor. Harapannya dapat meningkatkan jumlah radiasi matahari yang diserap oleh plat absorber sehingga meningkatkan performa dari kolektor surya itu sendiri

Untuk memperoleh unjuk kerja yang diharapkan, maka perlu direncanakan kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor yang baik. Permasalahannya sekarang adalah :

1. Bagaimana menentukan variasi sudut yang tepat untuk kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor di Jurusan Teknik Mesin
2. Berapa temperatur keluar fluida maksimum yang dapat dicapai oleh kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor untuk masing-masing variasi sudut
3. Bagaimana unjuk kerja dari kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor untuk masing-masing variasi sudut

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kolektor surya yang digunakan memiliki susunan paralel
2. Analisis performansi kolektor surya dilakukan pada kondisi *steady state*
3. Aliran udara yang mengalir di dalam kolektor surya dianggap satu arah dan memenuhi luasan kolektor secara meyeluruh
4. Fluida kerja selama proses pengambilan data tidak mengalami perubahan fase
5. Debu dan kotoran – kotoran di atas kolektor surya diabaikan
6. Pengambilan data dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin ITS pada pukul 08.00-17.00. Data-data lain yang

diperlukan dalam perencanaan dan analisis diambil sesuai dengan literatur yang relevan

7. Analisis unjuk kerja kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor di Jurusan Teknik Mesin ITS dianggap mewakili kota Surabaya

#### **1.4 Tujuan**

Studi eksperimen ini, bertujuan untuk :

1. Mengetahui variasi sudut yang tepat untuk kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor yang efektif di Jurusan Teknik Mesin ITS
2. Mengetahui Quseful yang dapat dicapai oleh kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor
3. Mengetahui performa dari kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan performa yang lebih tinggi untuk penerapan *Solar Water Heater* (Pemanas Air Tenaga Surya)
2. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mengoptimalkan penggunaan sumber energi alternatif
3. Menumbuhkan minat bereksperimen dan memberikan solusi yang tepat melalui metode yang efektif dan efisien mengenai permasalahan terkini

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

##### **BAB I : Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika penulisan dari perencanaan yang dilakukan

##### **BAB II : Tinjauan Pustaka**

Bab ini menuliskan tentang tinjauan pustaka pada prinsip kerja kolektor surya plat datar dengan

penambahan reflektor, prinsip perpindahan panas, ketersediaan intensitas matahari, serta kolektor surya

### **BAB III : Metode Penelitian**

Bab ini menjelaskan tentang peralatan yang digunakan, tahap-tahap penelitian dan pengambilan data

### **BAB IV : Data, Hasil, dan Diskusi**

Bab ini menjelaskan tentang data-data yang didapatkan dari eksperimen kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor, hasil yang didapatkan dari pengolahan data, dan analisa mengenai hasil – hasil yang didapatkan

### **BAB V : Kesimpulan dan Saran**

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari eksperimen yang dilakukan, beserta saran-saran yang diberikan untuk perkembangan ke depannya



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

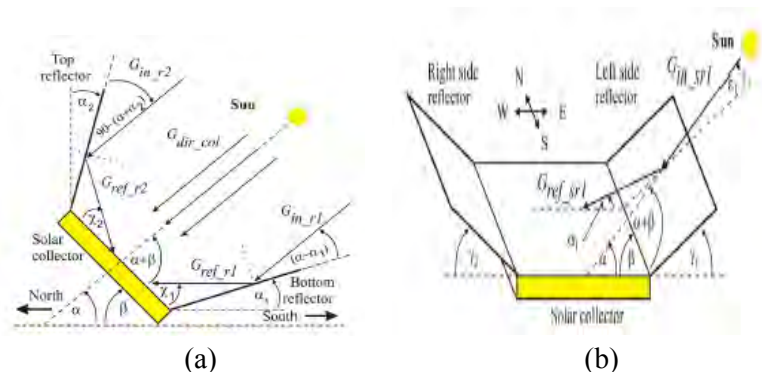
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor adalah sebagai berikut

#### 2.1.1 Zoran T.Pavlovic Ljiljana T. Kostic 2014, *Variation of reflected radiation from all reflectors of a flat plate solar collector*

Pada penelitian tahun 2014 tersebut, Zoran T. Pavlovic ingin menemukan sudut optimal pada kolektor surya dan sudut optimal dari reflektor. Secara umum penggunaan reflektor bertujuan untuk mendapatkan intensitas radiasi yang lebih tinggi pada plat absorber. Penggunaan reflektor ini cocok untuk kolektor surya yang dipasang di atap rumah maupun gedung karena pemasangannya yang mudah dan tidak membutuhkan biaya yang tinggi.

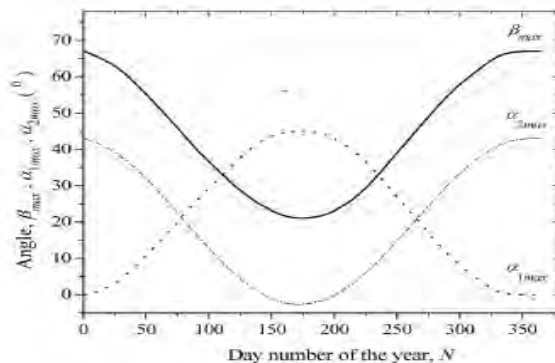


**Gambar 2.1** Skema kolektor surya dengan reflektor sisi atas dan bawah (a) Skema kolektor surya dengan reflektor sisi kiri dan kanan (b).

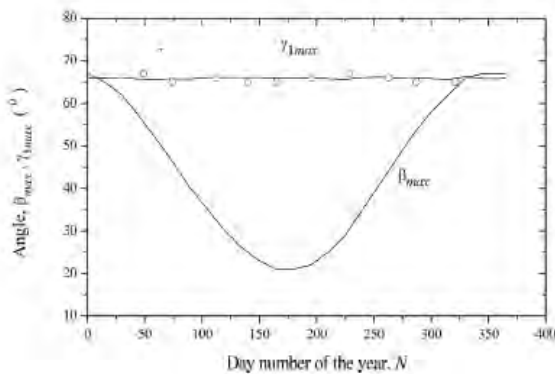
Penelitian ini menggunakan kolektor surya dengan penambahan reflektor pada bagian atas dan bawah (a) dan reflektor pada bagian kiri dan kanan (b). Radiasi total kolektor  $G_{tot\_col}$  adalah penjumlahan dari radiasi langsung (*direct*) kolektor  $G_{dir\_col}$ , radiasi pantulan dari reflektor sisi bawah  $G_{ref\_r1}$ , radiasi pantulan dari reflektor sisi atas  $G_{ref\_r2}$ , radiasi pantulan dari reflektor sisi kiri  $G_{ref\_sr1}$ , radiasi pantulan dari reflektor sisi kanan  $G_{ref\_sr2}$  dan radiasi hamburan (*diffuse*)  $G_{dif\_col}$  :

$$\bullet \quad G_{tot\_col} = G_{dir\_col} + G_{ref\_r1} + G_{ref\_r2} + G_{ref\_sr1} + G_{ref\_sr2} + G_{dif\_col} \dots\dots\dots(2.1)$$

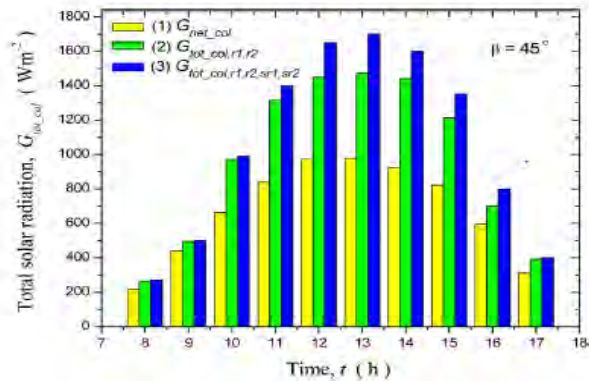
Kesimpulan dari penelitian ini yaitu didapatkan sudut optimal kolektor ( $\beta_{max}$ ), sudut optimal reflektor sisi bawah ( $\alpha_{1max}$ ), sudut optimal reflektor sisi atas ( $\alpha_{2max}$ ), sudut optimal reflektor sisi kanan dan kiri ( $\gamma_{max}$ ) dan perbandingan antara radiasi total kolektor tanpa reflektor, radiasi total kolektor dengan reflektor sisi atas dan bawah, dan radiasi total kolektor dengan reflektor sisi atas, bawah, kiri dan kanan



**Gambar 2.2** Nilai sudut optimal dari kolektor miring ( $\beta_{max}$ ), sudut optimal reflektor sisi bawah ( $\alpha_{1max}$ ), sudut optimal reflektor sisi atas ( $\alpha_{2max}$ ) versus hari dalam setahun N



**Gambar 2.3** Nilai sudut optimal dari kolektor miring ( $\beta_{\max}$ ) , sudut optimal reflektor sisi kiri ( $\gamma_{1\max}$ ) versus hari dalam setahun N

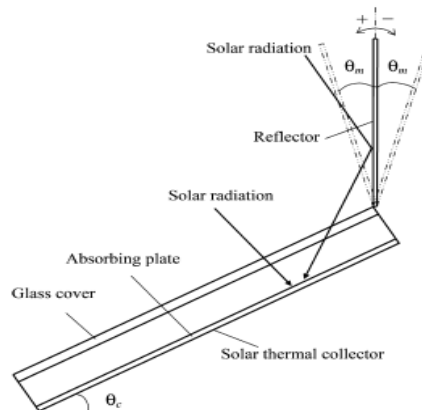


**Gambar 2.4** Variasi radiasi total kolektor selama hari tertentu di musim panas : (1) tanpa reflektor  $G_{\text{net,col}}$ , (2) dengan reflektor sisi bawah ( $r_1$ ) dan atas ( $r_2$ ) pada sudut optimal  $G_{\text{net,col},r1,r2}$ , (3) dengan 4 reflektor (atas,bawah,kiri,kanan) pada sudut optimal  $G_{\text{net,col},r1,r2,sr1,sr2}$

Dari gambar 2.4 dapat diketahui bahwa penambahan reflektor akan meningkatkan radiasi total pada kolektor dibandingkan tanpa menggunakan reflektor

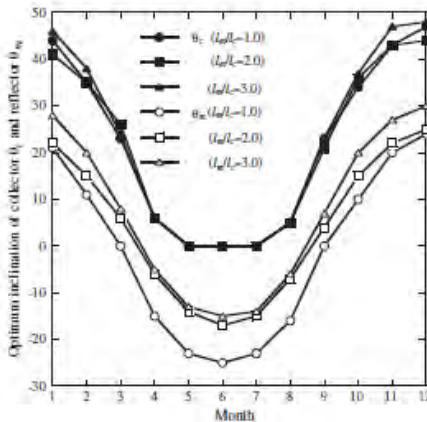
### 2.1.2 Hiroshi Tanaka, 2010 , *Solar Thermal Collector Augmented by Flat Plate Booster Reflector : Optimum Inclination of Collector and Reflector*

Pada penelitian ini, Hiroshi Tanaka ingin menemukan sudut optimal kolektor dengan penambahan reflektor. Hiroshi Tanaka mencari sudut optimum dengan memvariasikan rasio panjang reflektor dan panjang kolektor ( $I_m/I_c$ ) . Variasi rasio  $I_m/I_c$  adalah 1.0 , 2.0 dan 3.0.



**Gambar 2.5** Diagram sistem kolektor surya dan reflektor dengan variasi sudut kolektor ( $\theta_c$ ) dan sudut reflektor ( $\theta_m$ )

Kesimpulan dari penelitian ini adalah didapatkan sudut optimum kolektor ( $\theta_c$ ) dan sudut maksimum reflektor ( $\theta_m$ ) dengan variasi rasio  $I_m/I_c = 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$  . Rasio  $I_m/I_c = 0$  menandakan kolektor surya tanpa menggunakan reflektor



**Gambar 2.6** Sudut optimum kolektor ( $\theta_c$ ) dan reflektor ( $\theta_m$ ) pada rasio panjang kolektor dan reflektor  $I_m/I_c = 1.0, 2.0, 3.0$  selama setahun dengan  $30^\circ$  N

**Tabel 2.1** Sudut optimum kolektor surya dan reflektor dalam setahun

Optimum inclinations of collector and reflector throughout the year at  $5^\circ$  steps.  $I_m/I_c = 0$  shows the collector without reflector.

Month	$I_m/I_c = 0$	$I_m/I_c = 0.5$		$I_m/I_c = 1.0$		$I_m/I_c = 2.0$		$I_m/I_c = 3.0$	
	$\theta_c$	$\theta_c$	$\theta_m$	$\theta_c$	$\theta_m$	$\theta_c$	$\theta_m$	$\theta_c$	$\theta_m$
December	50	50	25	50	25	45	25	50	30
January, November	50	45	20	45	20	45	25	45	25
February, October	45	35	10	35	10	35	15	40	20
March, September	30	25	0	25	0	25	5	25	10
April, August	15	10	-15	5	-15	0	-10	5	-5
May, July	5	0	-25	0	-20	0	-15	0	-15
June	0	0	-25	0	-25	0	-20	0	-15

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa sudut optimal reflektor ( $\theta_m$ ) dipengaruhi oleh rasio  $I_m/I_c$ , dimana nilai  $\theta_m$  bertambah apabila nilai  $I_m/I_c$  juga bertambah

## 2.2 Dasar Teori Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan proses berpindahnya kalor akibat adanya beda temperatur, dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang rendah. Perpindahan panas sendiri secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

### 2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui suatu medium tanpa disertai perpindahan partikel medium itu sendiri. Konduksi dapat terjadi melalui media benda padat maupun fluida statis. Laju perpindahan panas konduksi dapat dirumuskan melalui persamaan berikut :

$$\bullet \quad q'' = k \frac{\Delta T}{L} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :  $q''_{\text{cond}}$  = fluks perpindahan panas konduksi ( $\text{W/m}^2$ )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur (K)

$k$  = konduktivitas termal ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

$L$  = jarak (m)

### 2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui suatu medium dimana partikel medium tersebut ikut berpindah. Syarat utama terjadinya perpindahan panas konveksi adalah adanya fluida yang mengalir, baik fluida cair maupun gas. Contoh konveksi dalam kehidupan sehari – hari yaitu proses memasak air di dalam panci.

Perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu aliran vertikal atau horizontal, aliran laminar atau turbulen, permukaan rata atau melengkung, jenis fluida (cair atau gas), sifat – sifat fluida (viskositas, kalor jenis, dsb). Konveksi dapat dibagi juga menjadi dua yaitu :

- *Force Convection*

Perpindahan panas karena adanya faktor kerja dari luar terhadap fluida perantara, misalnya konveksi dengan adanya bantuan *fan, blower, air conditioning*, dsv.

- *Free Convection*

Perpindahan panas tanpa ada faktor luar melainkan karena *buoyancy force*.

Laju perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut :

- $q_{conv}'' = h (T_{\infty} - T_s)$  ..... (2.3)

dimana :  $q''_{conv}$  = fluks perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>)

$h$  = koefisien konveksi (K)

$T_s$  = temperatur permukaan (K)

$T_{\infty}$  = temperatur fluida (K)

Koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) yang terjadi adalah hasil perhitungan dan merupakan fungsi dari kecepatan . Beberapa parameter tidak berdimensi digunakan untuk menghitung nilai dari koefisien perpindahan panas konveksi apabila kecepatan fluida diketahui. Parameter – parameter tersebut antara lain :

- *Reynolds Number (Re)*

Bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek yang terjadi. Bilangan *Reynolds* ini dapat digunakan untuk menentukan aliran yang terjadi termasuk ke dalam aliran laminar atau turbulen. Secara umum, bilangan *Reynolds* dirumuskan dalam persamaan berikut :

- $Re = \frac{V L}{\nu}$  ..... (2.4)

dimana :  $V$  = kecepatan fluida (m/s)

$L$  = panjang lintasan (m)

$\nu$  = koefisien gesek kinematika (m<sup>2</sup>/s)



dan persamaan untuk aliran di dalam pipa, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bullet \quad Re = \frac{v D}{\nu} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana : D = diameter pipa (m)

• *Prandtl Number (Pr)*

Bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematika dengan diffusivitas panas. Bilangan *Prandtl* dirumuskan sebagai berikut :

$$\bullet \quad Pr = \frac{\nu}{\mu} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :  $\nu$  = koefisien gesek kinematika ( $m^2/s$ )

$\mu$  = diffusivitas panas ( $m^2/s$ )

Umumnya *Prandtl Number* adalah properti dari fluida , sehingga perhitungan *Prandtl Number* tersebut jarang dilakukan

• *Nusselt Number*

Bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan koefisien perpindahan panas konduksi (k). *Nusselt Number* dirumuskan persamaan sebagai berikut :

$$\bullet \quad Nu = \frac{h L}{k} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana : L = panjang (m)

h = koefisien konveksi ( $W/m^2$ )

k = koefisien konduksi ( $W/m.K$ )

Apabila aliran berada di dalam pipa maka *Nusselt Number* identik dengan *Reynolds Number* dimana persamaan (2.7) menjadi fungsi dari diameter (D). Selain perumusan di atas , *Nusselt Number* juga merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* dan

bilangan *Prandtl*, seperti dijabarkan dalam persamaan di bawah :

$$\bullet \quad Nu = C Re^m Pr^n \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana nilai koefisien C , m , dan n bergantung pada sifat fluida. Aliran tergolong aliran eksternal (di luar/ tanpa dibatasi pembatas) atau internal (di dalam pembatas). Tipe aliran tergolong aliran laminar atau turbulen.

### 2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan energi panas dengan bantuan gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berbeda dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi. Radiasi tidak membutuhkan zat perantara , bahkan radiasi lebih efektif bila terjadi pada ruang vakum. Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan berasal dari energi panas zat yang dipindahkan oleh permukaan tersebut. Besarnya laju perpindahan panas radiasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan satu permukaan untuk memancarkan energi (g), temperatur benda dan temperatur lingkungan di sekitar benda itu . laju perpindahan panas radiasi dapat ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$\bullet \quad q_{rad}'' = \sigma \epsilon (T_s^4 - T_\infty^4) \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

$q''_{rad}$	= fluks radiasi (W/m <sup>2</sup> )
$T_s$	= temperatur permukaan (K)
$T_\infty$	= temperatur lingkungan (K)
$\zeta$	= konstanta Stephen Boltzman (5,6697 . 10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> )
$\epsilon$	= emmisivitas beban

Laju perpindahan panas radiasi juga dapat dituliskan dalam bentuk lain, seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

$$\bullet \quad q_{rad}'' = h_r (T_s - T_\infty) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :  $h_r$  = koefisien perpindahan panas radiasi

Laju perpindahan panas radiasi untuk dua plat paralel, ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\bullet \quad q_{rad} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :  $T_1$  = temperatur permukaan (K)

$T_2$  = temperatur surrounding (K)

$\varepsilon_1$  = emmisivitas bahan permukaan 1

$\varepsilon_2$  = emmisivitas bahan permukaan 2

### 2.3 Teori Radiasi Matahari

Matahari memiliki jarak rata-rata terhadap bumi sebesar  $1,495 \times 10^{11}$  m . Matahari memiliki nilai yang disebut konstanta surya ( $G_{sc}$ ). Konstanta surya ( $G_{sc}$ ) yaitu energi matahari per unit waktu yang diterima oleh satu unit luasan permukaan yang tegak lurus terhadap arah datangnya radiasi pada jarak rata-rata bumi dan matahari di daerah ekstrasferterrestrial. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Thekaekara dan Drumond nilai standar konstanta surya ( $G_{sc}$ ) adalah  $1353 \text{ W/m}^2$  dengan perkiraan kesalahan  $\pm 1,5 \%$ .

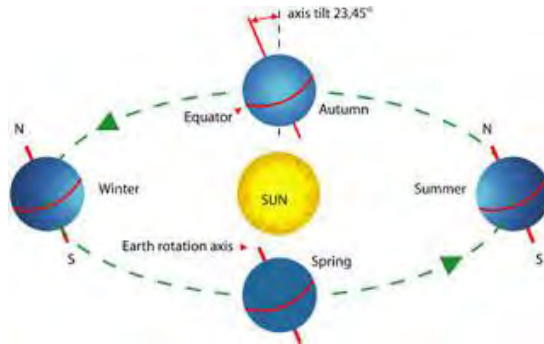
Lintasan orbit bumi yang berbentuk elips menyebabkan adanya variasi jarak antara matahari dan bumi. Variasi jarak antara matahari dan bumi ini mengakibatkan variasi flux radiasi pada ekstrasferterrestrial sebesar 3%. Untuk menghitung besarnya intensitas radiasi surya di ekstrasferterrestrial pada satu waktu tertentu dapat menggunakan persamaan :

$$\bullet \quad G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360.n}{365} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :  $G_{on}$  = radiasi ekstrasferterrestrial diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke  $n$  pada satu tahun ( $\text{W/m}^2$ )

$n$  = nomor urutan hari dalam satu tahun , dimana

$n = 1$  dimulai pada tanggal 1 Januari



**Gambar 2.7** Lintasan Bumi terhadap Matahari

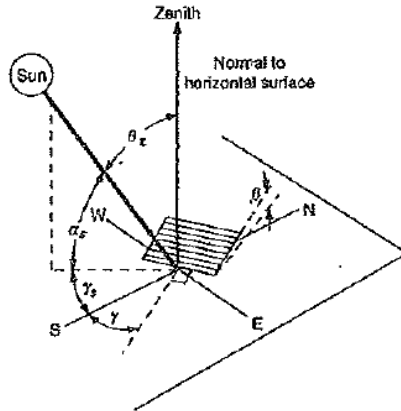
**Tabel 2.2** Daftar Nilai  $n$  dalam satu tahun

Month	Day number	Average day of the month		
		Date	$N$	$\delta$ (deg.)
January	$i$	17	17	-20.92
February	$31 + i$	16	47	-12.95
March	$59 + i$	16	75	-2.42
April	$90 + i$	15	105	9.41
May	$120 + i$	15	135	18.79
June	$151 + i$	11	162	23.09
July	$181 + i$	17	198	21.18
August	$212 + i$	16	228	13.45
September	$243 + i$	15	258	2.22
October	$273 + i$	15	288	-9.60
November	$304 + i$	14	318	-18.91
December	$334 + i$	10	344	-23.05

### 2.3.1 Perhitungan Sudut Datang Matahari untuk Bidang Miring

Bumi memiliki dua macam pergerakan secara umum, yaitu rotasi dan revolusi. Rotasi yaitu perputaran bumi terhadap porosnya, sedangkan revolusi perputaran bumi terhadap matahari berdasarkan orbit bumi. Karena bumi senantiasa bergerak sepanjang harinya, maka radiasi matahari yang jatuh di satu

tempat tertentu di bumi tidak selalu sama setiap jamnya. Berdasarkan inilah perlunya perhitungan sudut datang matahari agar dapat menganalisa berapa besarnya intensitas radiasi matahari yang jatuh pada satu daerah tertentu di bumi.



**Gambar 2.8** Sudut-sudut yang berpengaruh pada radiasi matahari

Keterangan :

$\Phi$  : Latitude/garis lintang adalah sudut lokasi satu tempat di muka bumi utara atau selatan terhadap ekuator, nilai positif menunjukkan arah utara, -  $\Phi$

$\delta$  : deklinasi adalah sudut posisi matahari pada saat tengah hari (*solar noon*) terhadap pada bidang ekuator, nilai positif menunjukkan arah utara, -  $\delta$  ,

$\beta$  : kemiringan bidang adalah sudut antara permukaan bidang yang menjadi perhatian (dalam hal ini berarti bidang kolektor) terhadap bidang hori ontal  $\beta$  ( $\beta > 0$  , berarti permukaan bidang menghadap ke bawah)

$\gamma$  : sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proyeksi permukaan pada bidang horizontal dengan garis meridian (garis bujur lokal)  $\gamma = 0$  menghadap ke selatan, ke arah timur negatif, ke arah barat positif -  $\gamma$

$\omega$  : sudut jam (*hour angle*) adalah perpindahan sudut matahari timur dan barat dari garis bujur lokal akibat dari rotasi bumi

pada sumbu  $a$  dengan kecepatan  $\omega$  per jam  $\omega > 0$  pada pagi hari dan  $\omega < 0$  pada sore hari  $\omega = 0$  pada *solar noon*.

$\theta$  : sudut datang, yaitu sudut antara radiasi langsung (*beam radiation*) dari matahari terhadap garis normal bidang permukaan yang diamati

$\theta_z$  : sudut zenit, yaitu sudut antara radiasi langsung (*beam radiation*) dari matahari terhadap garis normal bidang horizontal

$\alpha$  : sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung matahari dengan bidang horizontal

Hubungan antara sudut datang matahari ( $\theta$ ) dengan sudut – sudut yang lain, dinyatakan pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \bullet \quad \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ & \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \\ & \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

Untuk menghitung sudut deklinasi ( $\delta$ ) menggunakan persamaan berikut :

$$\bullet \quad \delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284+n}{365} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :  $n$  = nomor urutan hari dalam satu tahun

### 2.3.2 Perhitungan Sudut Datang Matahari untuk Bidang Horizontal

Perhitungan pada permukaan bidang horizontal yang berarti besar *slope* ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ , maka sudut datang menjadi sudut zenith sebab garis normal permukaan bidang berhimpit dengan zenith sehingga persamaan menjadi :

$$\bullet \quad \cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \phi \dots\dots\dots (2.15)$$

Sudut jam matahari terbit atau terbenam dapat dihitung menggunakan persamaan di atas apabila  $\theta = 90^\circ$

Cosinus sudut jam terbenam matahari adalah :

$$\begin{aligned} \bullet \quad \cos \omega_{set} &= \frac{-\sin \theta \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta} \\ \bullet \quad \cos \omega_{set} &= -\tan \phi \cdot \tan \delta \end{aligned} \quad (2.16)$$

Sedangkan Cosinus sudut jam matahari terbit adalah :

$$\bullet \quad \cos \omega_{rise} = -\cos \omega_{set} \quad (2.17)$$

Durasi waktu lamanya matahari bersinar juga dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\bullet \quad N = \frac{2}{15} \omega_{set} \quad (2.18)$$

### 2.3.3 Perhitungan Radiasi Harian Rata – Rata Matahari di Ekstraterrestrial

Dalam satu bulan intensitas radiasi matahari yang jatuh pada suatu bidang horizontal berbeda – beda. Untuk menyederhanaan pengambilan analisa maka dapat menggunakan perhitungan radiasi harian rata – rata matahari pada bulanan ( $\overline{H_0}$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bullet \quad \overline{H_0} = \frac{24.3600 \text{ Gsc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 \cdot \bar{n}}{365} \right) \times \left( \cos \phi \cdot \cos \bar{\delta} \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \sin \phi \cdot \sin \bar{\delta} \right) \quad (2.19)$$

Dimana :  $\overline{H_0}$  = radiasi harian rata-rata matahari pada bulanan (MJ/bulan)

$\bar{n}$  = nilai n yang diambil pada *mean day* pada satu bulan tertentu

$\bar{\delta}$  = nilai  $\delta$  ang diambil pada *mean day* pada satu bulan tertentu

Sedangkan perhitungan radiasi matahari di ekstrasferterrestrial untuk periode 1 jam, ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\bullet \quad I_o = \frac{12.3600.G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033. \cos \frac{360.n}{365} \right) \cdot (\cos \phi. \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \cdot \sin \phi. \sin \delta) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :  $I_o$  = radiasi matahari total di ekstrasferterrestrial pada bidang horizontal tiap satuan jam (MJ/jam)  
 $\omega_1$  = sudut waktu pada saat awal penelitian  
 $\omega_2$  = sudut waktu setelah penelitian berlangsung selama 1 jam

### 2.3.4 Jenis Radiasi yang Masuk ke Permukaan Bumi

Radiasi matahari yang masuk ke permukaan bumi jumlahnya akan berkurang. Hal ini disebabkan karena ketika radiasi matahari melewati atmosfer, sebagian diteruskan menuju permukaan bumi, sebagian dipantulkan kembali ke luar angkasa, dan sebagian lagi akan diserap oleh atmosfer. Karena pengaruh atmosfer inilah , jenis radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi secara umum terbagi menjadi 3 jenis yaitu :

- *Beam Radiation* (Radiasi Langsung)

*Beam radiation* adalah radiasi matahari yang secara langsung diteruskan dari atmosfer hingga mencapai permukaan bumi

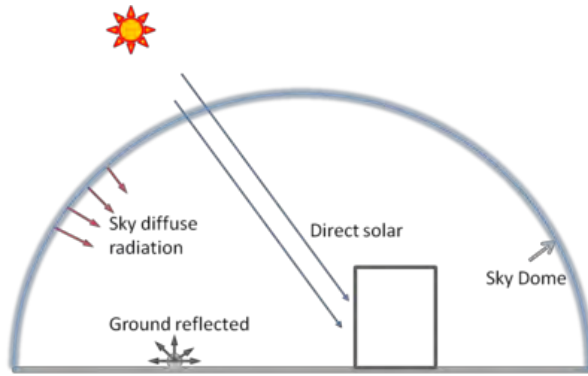
- *Diffuse Radiation* (Radiasi Difuse)

*Diffuse Radiation* adalah radiasi matahari yang tersebar terlebih dahulu di atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi

- *Ground Reflected Radiation* (Radiasi Pantulan)

*Reflected Radiation* adalah radiasi matahari yang memantul pada permukaan tanah





**Gambar 2.9** Radiasi langsung , radiasi hamburan , dan radiasi pantulan

### 1. Beam Radiation ( $I_b$ )

Untuk menghitung *beam radiation* ( $I_b$ ) yang jatuh tegak lurus bidang, dapat menggunakan persamaan :

$$\bullet \quad I_b = I_0 \cdot \tau_b \dots\dots\dots (2.21)$$

apabila menghitung *beam radiation* pada bidang horizontal ( $I_{cb}$ ) dapat menggunakan persamaan

$$\bullet \quad I_{cb} = I_0 \cdot \tau_b \cdot \cos \theta_z \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :  $I_b$  = Intensitas *beam radiation* per jam (MJ/jam)

$I_{cb}$  = Intensitas *beam radiation* pada bidang horizontal (MJ/jam)

$I_0$  = Intensitas radiasi di ekstrasferestrial per jam (MJ/jam)

$\tau_b$  = Nilai Transmisivitas untuk *Beam Radiation*

Nilai  $\tau_b$  didapatkan dengan persamaan :

$$\bullet \quad \tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana konstanta – konstanta  $a_0$ ,  $a_1$  dan  $k$  berlaku untuk kondisi standar atmosfer dengan jarak pandang 23 km. Konstanta – konstanta tersebut didekati dengan konstanta – konstanta  $a_0^*$ ,  $a_1^*$ ,  $k^*$  dan rumusan – rumusan berikut sebagai fungsi ketinggian ( $A$ ) < 2,5 km.

$$\bullet \quad a_0^* = 0,4237 - 0,00821(6 - A)^2 \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\bullet \quad a_1^* = 0,5055 - 0,00595(6,5 - A)^2 \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\bullet \quad k^* = 0,2711 + 0,01858(2,5 - A)^2 \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Tabel di bawah ini menunjukkan faktor koreksi dari  $a_0^*$ ,  $a_1^*$ ,  $k^*$  terhadap konstanta  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $k$  sebagai fungsi dari iklim tempat observasi

**Tabel 2.3** Faktor Koreksi terhadap Kondisi Cuaca

Climate type	$\frac{a_0}{a_0^*}$	$\frac{a_1}{a_1^*}$	$\frac{k}{k^*}$
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midlatitude summer	0,97	0,99	1,02
Subarctic summer	0,99	0,99	1,01
Midlatitude winter	1,03	1,01	1,00

## 2. Diffuse Radiation ( $I_d$ )

Perumusan untuk menghitung *diffuse radiation* ( $I_d$ ) di permukaan bidang horizontal adalah :

$$\bullet \quad I_d = I_0 \cdot \tau_d \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

$\tau_d$  merupakan koefisien transmisivitas *diffuse radiation* yang memiliki hubungan dengan koefisien transmisivitas *beam radiation*.

Besarnya  $\tau_d$  dengan kondisi *clear sky* dirumuskan sebagai :

$$\bullet \quad \tau_d = 0,271 - 0,294 \cdot \tau_b \dots\dots\dots (2.28)$$

## 2.4 Dasar Teori Kolektor Surya Plat Datar

### 2.4.1 Pengertian Umum Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya merupakan satu jenis alat penukar panas yang merubah energi radiasi matahari menjadi energi panas. Untuk merubah energi tersebut dibutuhkan media atau alat yang dapat memindahkan panas, media tersebut adalah plat absorber. Plat absorber merupakan alat yang mampu menyerap panas dari pancaran radiasi matahari, kemudian panas dari plat absorber diteruskan ke fluida. Kemampuan fluida untuk menyerap energi panas tergantung dari intensitas radiasi matahari yang masuk ke plat absorber dan efisiensi dari plat absorber itu sendiri.

Kolektor surya yang umum dipakai saat ini adalah tipe kolektor surya plat datar. Fluida kerja yang digunakan dapat berupa fluida cair (air) maupun fluida gas (udara). Aplikasi kolektor surya plat datar dengan fluida kerja air salah satunya adalah *Solar Water Heater*, yaitu pemanas air bertenaga surya. Sedangkan untuk kolektor surya plat datar dengan fluida kerja udara misalnya sebagai alat pengering ikan. Sistem kolektor surya sederhana terdiri dari kaca penutup, plat absorber, pipa kolektor, insulasi dan kerangka kolektor.

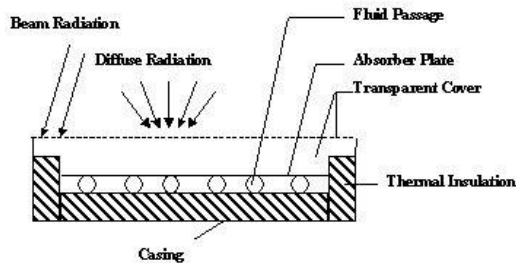


Fig.1 Liquid Flat-plate Collector

### Gambar 2.10 Kolektor Surya Plat Datar Sederhana

Prinsip kerja dari kolektor surya tersebut adalah sinar radiasi surya menembus kaca penutup lalu sinar tersebut akan menuju plat absorber dan diharapkan semua sinar radiasi matahari berupa energi panas semua terakumulasi di plat absorber. Radiasi matahari yang terakumulasi di plat absorber akan ditransferkan energi panasnya ke fluida yang mengalir pada pipa dibawah plat absorber sehingga menyebabkan peningkatan temperatur fluida keluar pipa. Insulasi yang berada di bawah pipa berfungsi sebagai isolator agar panas fluida tidak terdistribusi keluar melalui bagian bawah kolektor.

Untuk memprediksi performa dari suatu kolektor surya dibutuhkan informasi radiasi matahari total yang dapat diserap oleh suatu kolektor surya. Apabila suatu kolektor surya diletakkan miring dengan kemiringan sebesar  $\beta$  (sudut antara bidang kolektor dengan bidang horizontal) maka jumlah radiasi total yang diterima permukaan kolektor surya tersebut tiap jam dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\bullet \quad S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho_g \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :  $I_b$  = radiasi langsung (*beam radiation*)

$(\tau\alpha)_b$  = koefisien transmisifitas-absorbsifitas langsung

$I_d$  = radiasi hamburan (*diffuse radiation*) pada permukaan horizontal

$(\tau\alpha)_d$  = koefisien transmisifitas-absorbsifitas hamburan

$R_b$  = perbandingan radiasi matahari pada permukaan miring dengan radiasi matahari pada permukaan horizontal

$$R_b = \frac{I}{I_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \dots\dots\dots (2.30)$$

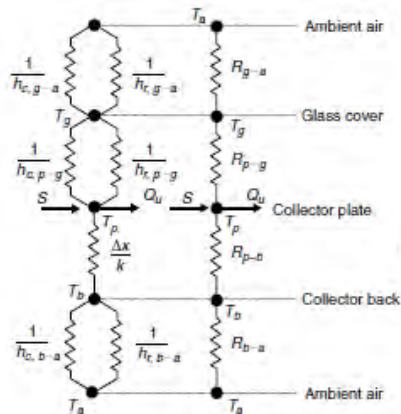
$(\tau\alpha)_g$  = koefisien transmisifitas-absorbsifitas pantulan dari tanah

$\rho_g$  = faktor pantulan dari tanah (*ground-reflected*)

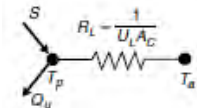
Menurut Liu dan Jordan, nilai  $\rho =$  , untuk tanah ang tidak bersalju dan  $\rho =$  ,7 untuk tanah ang bersalju

#### **2.4.2 Analisa Kerugian Panas pada Kolektor Surya Plat Datar**

Radiasi panas yang diserap oleh plat absorber (S) , tidak semuanya dapat diubah menjadi energi berguna ( $Q_u$ ). Karena saat plat absorber menyerap energi radiasi, sesuai prinsip kesetimbangan energi, maka akan ada pula kerugian panas yang terjadi. Besarnya kerugian panas ditentukan oleh nilai tahanan termal pada kolektor surya tersebut. Tahanan termal pada kolektor surya terdiri dari, tahanan termal pada bagian atas kolektor ( $U_t$ ), tahanan termal pada bagian bawah kolektor ( $U_b$ ), dan tahanan termal pada bagian samping kolektor ( $U_e$ ). Gambar di bawah ini menunjukkan skema tahanan termal pada sebuah kolektor surya



**Gambar 2.11** Skema Tahanan Termal pada Kolektor Surya Plat Datar



**Gambar 2.12** Skema Jaringan Kolektor Surya Sederhana

Jumlah dari tahanan termal pada kolektor surya disebut tahanan termal total ( $U_L$ ). Besar atau kecilnya nilai tahanan termal total ( $U_L$ ) sangat berpengaruh pada energi berguna ( $Q_u$ ) dan efisiensi  $\eta$  dari kolektor surya tersebut.

#### 2.4.2.1 Analisa Tahanan Termal pada Bagian Atas Kolektor Surya ( $U_t$ )

Kerugian panas yang terjadi pada bagian atas kolektor surya terdiri dari :

- Kerugian panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dan *Glass cover*
- Kerugian panas konveksi dan radiasi antara *Glass cover* dan lingkungan (*ambient*)

persamaan koefisien kerugian panas gabungan tersebut adalah,

$$\bullet \quad U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :  $U_t$  = koefisien kerugian panas pada bagian atas kolektor

$R_1$  = tahanan termal antara plat absorber dan *Glass Cover*

$R_2$  = tahanan termal antara *Glass cover* dan lingkungan (*ambient*)

#### 2.4.2.1.1 Kerugian panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dan *Glass cover*

Kerugian panas antara plat absorber dan *Glass cover* memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai  $R_1$ , persamaan  $R_1$  adalah :

$$\bullet \quad R_1 = \frac{1}{h_{cv,p-c} + h_{r,p-c}} \dots\dots\dots (2.32)$$

dimana :  $h_{cv,p-c}$  = koefisien konveksi antara plat absorber dan *Glass cover*

$h_{r,p-c}$  = koefisien radiasi antara plat absorber dan *Glass cover*

Perpindahan panas konveksi yang terjadi antara plat absorber dan *Glass cover* adalah perpindahan panas secara *Natural Convection* (konveksi alami). Nilai koefisien konveksinya ditentukan oleh bilangan tak berdimensi yaitu *Nusselt number* ( $Nu$ ), *Raleigh number* ( $Ra$ ), *Prandtl number* ( $Pr$ ) dan *Grasshoff number* ( $Gr$ ) yang merupakan perbandingan dari *Raleigh number* dan *Prandtl number*

$$Grasshoff \ number : Gr = \frac{\beta' . g . \Delta T . d . \rho^3}{\mu^2} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$Raleigh\ number : Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$Prandt\ number : Pr = \frac{\nu}{\alpha} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :

- d = panjang karakteristik dari suatu objek (m)
- $\rho$  = densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu$  = viskositas dinamis fluida ( $\text{N s/m}^2$ )
- $\beta'$  = koefisien ekspansi volumetrik (untuk ideal gas,  
 $\beta' = 1/T$ )
- $\Delta T$  = perbedaan temperatur antara plat absorber dan  
*Glass cover* ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $\alpha$  = diffusifitas termal
- L = jarak antara plat absorber dan *Glass cover*(m)

Penelitian dari Hollands (1976) memberikan persamaan hubungan antara *Nusselt number* dan *Raleigh number* untuk sudut kolektor antara  $0^{\circ}$  sampai  $75^{\circ}$  yaitu :

$$\bullet \quad Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \dots\dots\dots (2.36)$$

maksud dari tanda + di sebelah tanda kurung persegi adalah hanya nilai positif dari persamaan yang digunakan (gunakan nilai 0 apabila persamaan dalam tanda kurung persegi bernilai negatif)

$$\bullet \quad h_{cv,p-c} = Nu \frac{k_a}{L} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana :  $k_a$  = konduktivitas termal udara ( $\text{W/m.K}$ )  
L = jarak antara plat absorber dengan *Glass cover*



Sedangkan persamaan untuk mencari koefisien radiasi dari plat absorber ke *Glass cover* adalah :

$$\bullet \quad h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana :  $\zeta$  = konstanta Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ )  
 $T_p$  = temperatur plat absorber ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $T_c$  = temperatur *Glass cover* ( $^{\circ}\text{K}$ )  
 $\varepsilon_p$  = emmisivitas plat absorber  
 $\varepsilon_c$  = emmisivitas *Glass cover*

#### 2.4.2.1.2 Kerugian Panas konveksi dan radiasi antara *Glass cover* dan lingkungan

Kerugian panas antara *Glass cover* dan lingkungan memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai  $R_2$ , persamaan  $R_2$  adalah :

$$\bullet \quad R_2 = \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana :  $h_w$  = koefisien konveksi angin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )  
 $h_{r,c-a}$  = koefisien konveksi dari *Glass cover* ke lingkungan (*ambient*)

Koefisien perpindahan panas konveksi yang disebabkan oleh angin yang berhembus di atas *Glass cover*

$$\bullet \quad h_w = 2,8 + 3,0 V_m \dots\dots\dots (2.40)$$

dimana :  $h_w$  = koefisien konveksi oleh angin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )  
 $V_m$  = kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )

sedangkan koefisien radiasi dari *Glass cover* ke lingkungan (*ambient*) adalah

$$\bullet \quad h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2)(T_c + T_s) \quad \dots\dots\dots (2.41)$$

dimana :  $\varepsilon_c$  = emisivitas *Glass cover*

$\zeta$  = konstanta Stefan-Boltzmann  $5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$T_c$  = temperatur *Glass cover* ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_s$  = temperatur Sky , menurut Swinbank  $T_s = 0,0552 T_a^{1,5} \text{ (}^{\circ}\text{K)}$

#### 2.4.2.2 Analisa Tahanan Termal pada Bagian Bawah Kolektor Surya (Ub)

Kerugian panas yang terjadi pada bagian bawah kolektor surya terdiri dari :

- Kerugian panas konduksi antara plat absorber dengan insulasi
- Kerugian panas konveksi dan radiasi antara insulasi dengan lingkungan (*ambient*)

persamaan koefisien kerugian panas gabungan tersebut adalah :

$$\bullet \quad U_b = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad \dots\dots\dots (2.42)$$

dimana :  $U_b$  = koefisien kerugian panas pada bagian bawah kolektor

$R_3$  = tahanan termal antara plat absorber dan insulasi

$R_4$  = tahanan termal antara insulasi dan lingkungan (*ambient*)

Tetapi pada umumnya nilai  $R_4$  dapat diabaikan karena semua tahanan termal aliran panas disebabkan oleh insulasi, sehingga  $R_4$  bernilai sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

Oleh karena itu, persamaan koefisien kerugian panas pada bagian bawah kolektor menjadi :

$$\bullet \quad U_b = \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots (2.43)$$

#### 2.4.2.2.1 Kerugian Panas Konduksi antara Plat Absorber dan Insulasi

Kerugian panas konduksi antara plat absorber dan insulasi memiliki tahanan termal yang disimbolkan sebagai  $R_3$ , persamaan  $R_3$  adalah :

$$\bullet \quad R_3 = L/k \dots\dots\dots (2.44)$$

dimana :  $R_3$  = tahanan termal antara plat absorber dan insulasi

$L$  = tebal insulasi (m)

$k$  = koefisien konduksi insulasi ( $W/m^2.K$ )

#### 2.4.3 Analisa Kerugian Panas Total pada Kolektor Surya ( $U_L$ )

*Overall heat transfer coefficient total* ( $U_t$ ) pada kolektor surya , *single cover*, dan aliran di bawah absorber dirumuskan sebagai berikut :

$$\bullet \quad U_L = U_t + U_b = \frac{1}{\frac{1}{\left[ \frac{1}{h_{cv,p-c}} + \frac{1}{h_{r,p-c}} \right]} + \left[ \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_{cv,c-a}} \right]} + \frac{1}{L/k} \dots\dots\dots (2.45)$$

dimana :  $U_L$  = *Overall Heat Transfer Coefficient* kolektor surya

$U_t$  = koefisien perpindahan panas pada bagian atas kolektor surya

$U_b$  = koefisien perpindahan panas pada bagian bawah kolektor surya

#### 2.4.4 Faktor Pelepasan Panas Kolektor ( $F_R$ )

Faktor pelepasan panas kolektor ( $F_R$ ) untuk kolektor surya plat datar dengan tipe aliran di bawah plat absorber adalah sebagai berikut :

$$\bullet \quad F_R = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_{fluida}}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana :  $\dot{m}$  = Laju alir massa fluida (*mass flow rate*) (m/s)

$A_c$  = Luasan kolektor surya yang terpapar sinar matahari ( $m^2$ )

$C_p$  = Panas jenis fluida (*fluid specific heat*)

#### 2.4.5 Analisa *Quseful* (panas yang berguna) pada Kolektor Surya

Persaman *Quseful* pada kolektor surya plat datar dengan tipe aliran di atas plat absorber adalah sebagai berikut :

$$\bullet \quad Q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \dots\dots\dots (2.47)$$

dimana :  $Q_u$  = energi berguna ( $W/m^2$ )

$S$  = radiasi matahari per satuan luas yang diserap plat penyerap ( $W/m^2$ )

$U_L$  = *Overall Heat Transfer Coefficient* ( $W/m^2.K$ )

$T_{fi}$  = temperatur fluida masuk pipa ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  = temperatur lingkungan (*ambient*) ( $^{\circ}C$ )

$F_R$  = Faktor pelepasan panas kolektor

#### 2.4.6 Analisa Efisiensi Kolektor Surya

*Quseful* yang berguna secara teoritis pada kolektor surya telah dijelaskan di atas. Sedangkan efisiensi kolektor surya plat datar tipe aliran di bawah plat absorber adalah sebagai sebagai berikut :

$$\bullet \quad \eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

dimana :  $\eta$  = efisiensi kolektor sur a plat datar

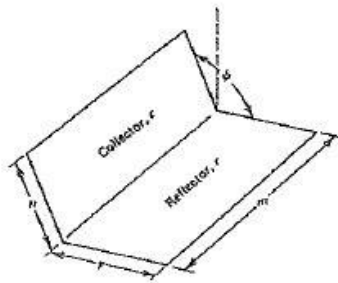
$Q_u$  = panas berguna ( $\text{W/m}^2$ )

$A_c$  = luasan kolektor surya yang terpapar sinar matahari ( $\text{m}^2$ )

$I_T$  = total radiasi pada permukaan dengan kemiringan tertentu ( $\text{W/m}^2$ )

## 2.5 Analisa Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor

Kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor bertujuan untuk meningkatkan penerimaan radiasi pada plat absorber. Cermin planar yang dipasang di sisi kolektor surya akan memantulkan radiasi matahari ke plat absorber. Dengan ini diharapkan *Quseful* yang dihasilkan dapat meningkat.



**Gambar 2.13** Kolektor surya (c) dengan reflektor (r) di satu sisinya

Berdasarkan buku *Solar Engineering And Thermal Process* karangan Duffie , dapat dianalisa pengaruh penambahan reflektor pada sebuah kolektor surya. Gambar di atas memperlihatkan kolektor surya (c) dan 1 buah reflektor (r) dimana  $\psi$  adalah sudut antara kolektor sur a dan reflektor.

Apabila reflektor dipasang hori ontal  $\psi$  bernilai  $0 - \beta$   
 Persamaan untuk menghitung  $I_T$  apabila reflektor dipasang horizontal adalah

$$\bullet \quad I_T = I_b R_b + I_d F_{c-s} + I_r \rho_r F_{c-r} + I \rho_g F_{c-g} \quad (2.49)$$

dimana :  $I_T$  = radiasi total pada permukaan kolektor yang memiliki kemiringan

$I_b$  = radiasi langsung (*beam*)

$R_b$  = perbandingan radiasi langsung pada bidang horizontal dan bidang miring

$I_d$  = radiasi hamburan (*diffuse*)

$F_{c-s}$  = *view factor* dari kolektor ke langit (*sky*)

$I_r$  = radiasi hamburan dari reflektor

$\rho_r$  = faktor pantulan dari reflektor

$F_{c-r}$  = *view factor* dari kolektor ke reflektor

$I$  = radiasi total pada bidang horizontal

$\rho_g$  = faktor pantulan dari tanah

$F_{c-g}$  = *view factor* dari kolektor ke tanah

nilai  $F_{c-s}$  dapat dicari dengan persamaan  $(1 + \cos \beta)/2$ , nilai  $F_{c-r}$  didapat dari gambar 2.xx dibawah atau menggunakan rumus :

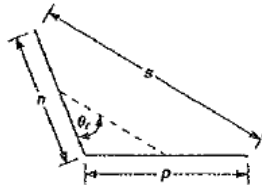
$$\bullet \quad F_{r-c} = \frac{n+p-s}{2p} \quad (2.50)$$

dimana :  $n$  = lebar kolektor surya (m)

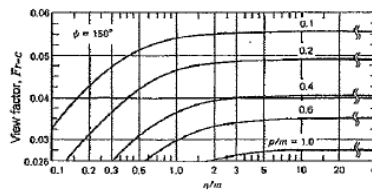
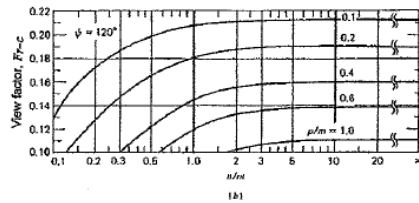
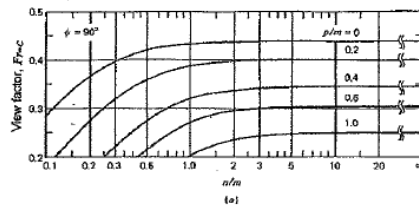
$p$  = lebar reflektor (m)

$s$  = panjang dari ujung kolektor ke ujung reflektor (m)

$$s = (n^2 + p^2 - 2np \cos \psi)^{1/2}$$



**Gambar 2.14** geometri kolektor dan reflektor



**Gambar 2.15** nilai *view factor* sebagai fungsi dari dimensi kolektor dan reflektor

Setelah itu, nilai  $F_{c-r}$  didapat dari hubungan  $A_c F_{c-r} = A_r F_{r-c}$ , sedangkan untuk nilai  $F_{c-g}$  didapat dari persamaan

$$F_{c-s} + F_{c-r} + F_{c-g} = 1$$

Sudut datang radiasi yang dipantulkan dari reflektor ke kolektor ( $\theta_r$ ) penting untuk diketahui, agar dapat menghitung radiasi total yang masuk ke kolektor. Tetapi nilai sudut datang matahari tiap jamnya berbeda, sehingga digunakan pendekatan yang menyatakan bahwa rata-rata sudut datang radiasi pantulan dari reflektor ke kolektor sama dengan radiasi dari titik tengah reflektor menuju titik tengah kolektor. Persamaan rata-rata sudut datang pantulan adalah,

$$\bullet \quad \sin \theta_r = \frac{p \sin \psi}{s} \dots\dots\dots (2.51)$$

dimana :  $p$  = lebar reflektor (m)

$\psi$  = sudut antara kolektor dan reflektor

$s$  = jarak ujung reflektor ke ujung kolektor (m)

Radiasi total yang dipantulkan oleh reflektor  $r$  dengan luas  $A_r$  ke permukaan kolektor  $c$  dengan luas  $A_c$  jika reflektor memiliki reflektansi hamburan  $\rho_r$  adalah

$$\bullet \quad A_c I_r = [I_b R_{br} + (1 - F_{r-c}) I_d] \rho_r A_r F_{r-c} \dots\dots\dots (2.52)$$

dimana :  $R_{br}$  = perbandingan radiasi pada bidang miring dan bidang horizontal

$F_{r-c}$  = *view factor* dari reflektor ke kolektor



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Perencanaan Penelitian**

Dalam studi penelitian kolektor surya ini, kolektor surya p lat datar diberi penambahan reflektor pada sisi kanan dan kiri. Penelitian ini dilakukan dengan mengubah variabel yaitu sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) dan sudut reflektor ( $\theta_r$ ). Dengan perubahan variabel penelitian ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi kolektor surya tersebut.

Penelitian kolektor surya dengan penambahan reflektor ini dilaksanakan di daerah Surabaya , tepatnya di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa , Teknik Mesin ITS , Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan letak geografis  $7,28^\circ$  LS dan  $112,74^\circ$  BT. Dengan rata-rata suhu udara di sekitar Surabaya yang relatif tinggi yaitu sekitar  $35^\circ$  C diharapkan kolektor surya tersebut mendapatkan intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi



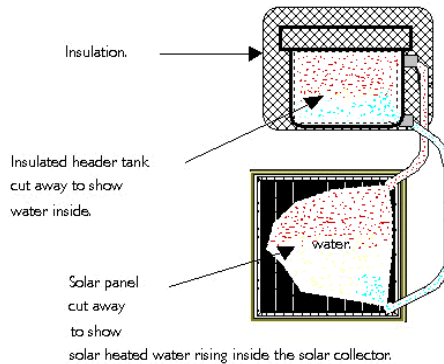
**Gambar 3.1 Kolektor Surya Plat Datar Sederhana**



**Gambar 3.2** Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor. Sumber : jurnal K.K. Chong , *Study of a Solar Water Heater using Stationary V-trough Collector*

### 3.2 Skema Instalasi Penelitian

Dalam penelitian ini , digunakan pemanas air tenaga surya bertipe pasif. Cara kerja dari pemanas air tenaga surya tipe pasif ini menggunakan prinsip *Thermosyphon* yaitu , air dingin dari tangki air akan memasuki kolektor surya melalui pipa penyalur fluida dingin. Hal ini dapat terjadi karena letak tangki air berada di atas kolektor surya , sehingga secara alami air akan mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah karena gaya gravitasi hingga memenuhi keseluruhan pipa kolektor.

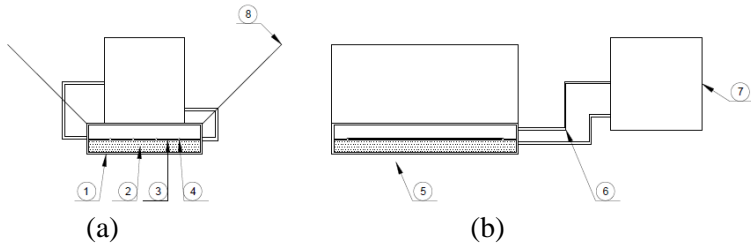


**Gambar 3.3** Sistem Kerja Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Pasif

Ketika matahari terbit sampai tingkat tertentu, energi radiasi matahari yang jatuh di plat absorber dan pipa kolektor akan mulai memanaskan air yang terkandung di dalamnya. Air panas yang ada di kolektor memiliki massa jenis yang lebih ringan daripada air dingin yang berada di tangki air, sehingga air panas yang ada di kolektor akan terdorong oleh air dingin yang ada di tangki air. Hal ini akan menyebabkan sirkulasi air secara terus menerus sampai temperatur di tangki air dan kolektor surya setara.

Kolektor surya akan diletakkan pada posisi menghadap utara atau  $\gamma = 180^\circ$ . Hal ini dikarenakan pengambilan data dilakukan pada bulan Mei saat matahari berada di sebelah utara garis ekuator, sehingga kolektor surya akan bekerja optimum apabila dipasang menghadap ke utara. Sedangkan reflektor dipasang di bagian barat-timur kolektor surya untuk meningkatkan intensitas matahari yang jatuh ke kolektor surya

Rangkaian instalasi kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor seperti gambar di bawah ini



**Gambar 3.4** Skema Instalasi Penelitian Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor, (a) tampak depan , (b) tampak samping

Keterangan :

1. Kerangka Kolektor
2. Insulasi
3. Plat Absorber
4. Pipa kolektor
5. Pipa sirkulasi fluida dingin
6. Pipa sirkulasi fluida panas
7. Tangki penyimpan fluida
8. Reflektor

### 3.3 Perencanaan dan Modifikasi pada Kolektor Surya

#### 3.3.1 Bahan – bahan yang digunakan

Secara prinsip kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari , dan mengubahnya menjadi energi panas kemudian diteruskan ke fluida yang berada di dalam pipa-pipa kolektor . Adapun bahan – bahan yang digunakan antara lain :

**3.3.1.1 Plat Absorber** digunakan untuk menyerap panas matahari yang dicat dengan warna hitam pekat, karena secara prinsip warna hitam dapat menyerap panas tanpa

menimbulkan efek radiasi pantulan ke atmosfer kembali. Dengan demikian penulis mencoba merancang alat yang akan di bentuk dengan ukuran sebagai berikut :

- a) Panjang Plat Absorber ( $P_c$ ) = 1500 mm
- b) Lebar Plat Absorber ( $L_c$ ) = 750 mm
- c) Tebal Plat Absorber ( $T_c$ ) = 0,3 mm

**3.3.1.2 Pipa Kolektor**, digunakan untuk menyerap panas matahari yang dicat dengan warna hitam pekat, karena secara prinsip warna hitam dapat menyerap panas tanpa menimbulkan efek radiasi pantulan ke atmosfer kembali. Dengan demikian penulis mencoba merancang alat yang akan dibentuk dengan ukuran sebagai berikut :

- a) Diameter Luar Pipa ( $D_o$ ) = 12,7 mm
- b) Diameter Dalam Pipa ( $D_i$ ) = 11,4 mm
- c) Panjang Pipa ( $P_p$ ) = 1450 mm
- d) Jarak antara Pipa Kolektor = 290 mm
- e) Jumlah Pipa Kolektor ( $N$ ) = 4 buah

**3.3.1.3 Insulasi** , digunakan untuk mengisolir panas matahari yang ditangkap oleh kolektor. Dalam pembuatan ini penulis menggunakan *Styrofoam* dengan ukuran sebagai berikut:

- a) Panjang Isolator ( $P_{ins}$ ) = 1500 mm
- b) Lebar Isolator ( $L_{ins}$ ) = 750 mm
- c) Tebal Isolator ( $T_{ins}$ ) = 50 mm

**3.3.1.4 Glass Cover** , digunakan untuk mengurung suhu udara panas yang berada di dalam kolektor agar tidak keluar

- a) Panjang *Glass Cover* ( $P_g$ ) = 1506 mm
- b) Lebar *Glass Cover* ( $L_g$ ) = 756 mm
- c) Tebal *Glass Cover* ( $T_g$ ) = 3 mm

**3.3.1.5 Kerangka Kolektor**, digunakan untuk menyangga dan sebagai tempat peletakan kolektor surya , terbuat dari bahan kayu dengan ukuran sebagai berikut ,

- a) Panjang Kerangka Kolektor (Pk) = 1510 mm
- b) Lebar Kerangka Kolektor (Lk) = 760 mm
- c) Tinggi Kerangka Kolektor (Tk) = 100 mm

**3.3.1.6 Reflektor** , digunakan untuk memantulkan radiasi matahari ke plat absorber . Dalam penelitian ini menggunakan cermin yang memiliki daya reflektivitas sebesar 95% – 98%. Terdapat dua buah reflektor yang dipasang di sisi kiri dan kanan. Reflektor memiliki ukuran sebagai berikut ,

- a) Panjang Reflektor (Pr) = 1500 mm
- b) Lebar Reflektor (Lr) = 750 mm
- c) Tebal Reflektor (Tr) = 0,2 mm

### **3.3.2 Perencanaan Variasi Sudut Kemiringan Kolektor Surya ( $\beta$ )**

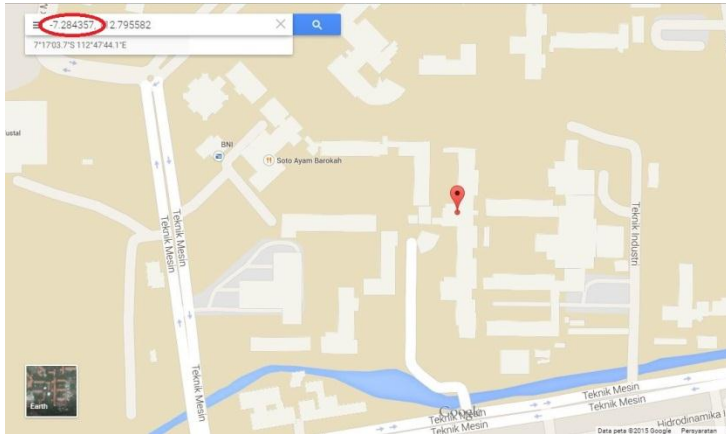
Perencanaan sudut kolektor surya dalam penelitian ini ada 3 , yaitu :

- Sudut  $0^\circ$

Sudut  $0^\circ$  berarti kolektor surya dipasang pada posisi horizontal terhadap permukaan tanah atau tanpa kemiringan .

- Sudut  $7^\circ$

Sudut  $7^\circ$  diambil berdasarkan *Rule of Thumb of Solar Energy* , menurut aturan ini sudut optimum kolektor surya adalah sama dengan garis lintang (*latitude*) dari lokasi dimana kolektor surya tersebut dipasang . Dari gambar 3.2 di bawah dapat diketahui bahwa garis lintang dari Jurusan Teknik Mesin ITS (yang dilingkari warna merah) adalah -7,284357 (tanda minus menunjukkan Jurusan Teknik Mesin ITS berada di sebelah selatan equator)



**Gambar 3.5** Lokasi Jurusan Teknik Mesin ITS berdasarkan *Software* Google Maps

- Sudut  $13^\circ$

Sudut  $13^\circ$  adalah sudut optimum kolektor surya berdasarkan perhitungan radiasi rata-rata selama satu tahun yang dihitung menggunakan *software* PVGIS .

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

Month	Hh	Hopt	H(90)	DNI	lopt	D/G
Jan	4970	4630	1100	3340	-21	0.51
Feb	4750	4560	1130	2870	-10	0.55
Mar	5090	5040	1790	3520	5	0.48
Apr	5420	5620	2840	4770	22	0.37
May	5050	5500	3650	5200	34	0.32
Jun	5220	5810	4300	5690	39	0.30
Jul	5630	6240	4400	6390	37	0.26
Aug	6510	6960	3860	7180	28	0.24
Sep	6840	6920	2350	7080	12	0.25
Oct	6270	6030	882	5670	-5	0.33
Nov	5440	5060	1030	4180	-19	0.44
Dec	4880	4500	1060	3380	-24	0.50
Year	5510	5580	2370	4950	13	0.37

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m<sup>2</sup>/day)

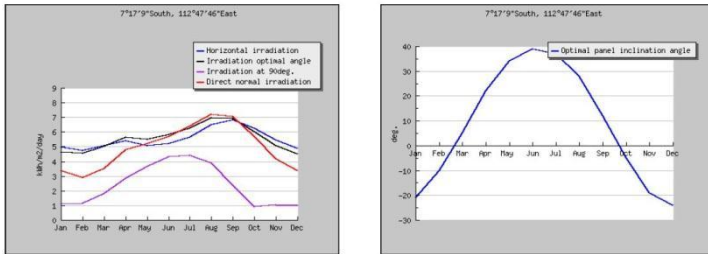
DNI: Direct normal irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)

(a)



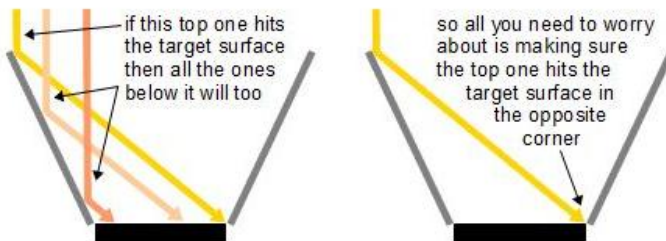


(b)

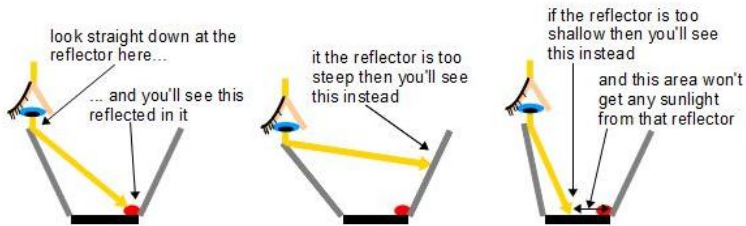
**Gambar 3.6** Tabel Radiasi Matahari selama 1 Tahun (a) , Grafik Radiasi Matahari dan Sudut Optimum selama 1 Tahun (b)

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 26 Mei sampai 3 Juni, dimana saat itu matahari berada di sebelah utara garis equator. Sehingga variasi sudut kolektor surya ( $\beta$ )  $7^\circ$  dan  $13^\circ$  menghadap ke arah utara.

### 3.3.3 Perencanaan Variasi Sudut Reflektor



**Gambar 3.7** Teori Radiasi Pantulan dari Reflektor

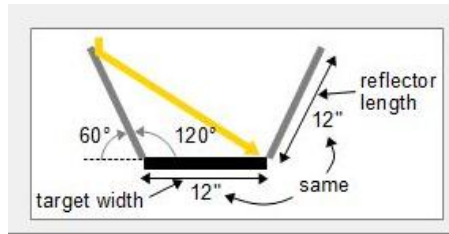


**Gambar 3.8** Skema pantulan radiasi matahari dengan sudut reflektor yang berbeda

Teori dasar reflektor pada kolektor surya seperti dijelaskan oleh Gambar 3.5 , kolektor harus dipasang pada sudut dimana garis radiasi matahari yang jatuh menimpa ujung reflektor yang arahnya tegak lurus dengan kolektor , arah pantulannya dapat mengenai pojok kolektor . Gambar 3.6 menjelaskan apabila sudut reflektor terlalu besar atau terlalu kecil maka akan menyebabkan radiasi pantulan yang jatuh ke kolektor tidak maksimal. Sehingga untuk mendapatkan sudut optimum dari reflektor dapat menggunakan persamaan di bawah ini :

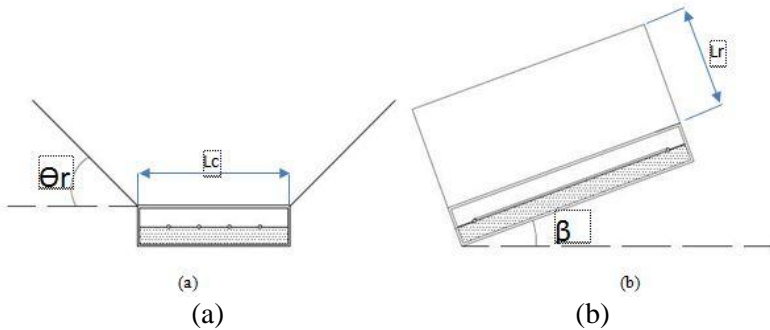
$$\theta_r = 90^\circ - \sin^{-1} \left( \frac{-Lr}{4 \cdot Lc} + \frac{1}{4} \sqrt{\frac{Lr^2}{Lc^2} + 8} \right) \quad (3.1)$$

.....  
Dalam penelitian ini , lebar plat absorber ( $L_c$ ) dan lebar reflektor ( $L_r$ ) memiliki nilai yang sama . Sehingga dari persamaan 3.1 untuk lebar plat absorber dan reflektor sebesar 750 mm akan didapatkan nilai  $\theta_r = 60^\circ$ .



**Gambar 3.9** Sudut Optimum reflektor dengan nilai lebar plat absorber dan lebar kolektor yang sama

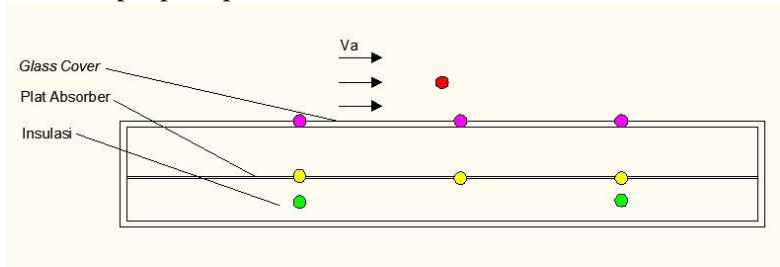
Untuk lebih mengetahui ketepatan teori di atas, maka ditambahkan variasi sudut reflektor dengan rentang  $\pm 10^\circ$  dari sudut optimum. Sehingga perencanaan sudut reflektor memiliki variasi sudut sebesar  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $70^\circ$ . Berikut ini adalah skema variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) dan sudut reflektor ( $\theta_r$ )



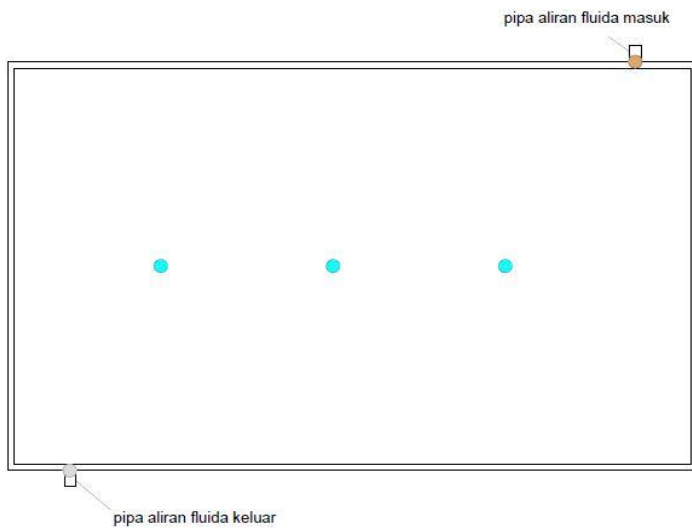
**Gambar 3.10** (a) Skema variasi sudut reflektor (b) Skema variasi sudut kolektor

### 3.3.4 Perencanaan Peletakan Thermocouple

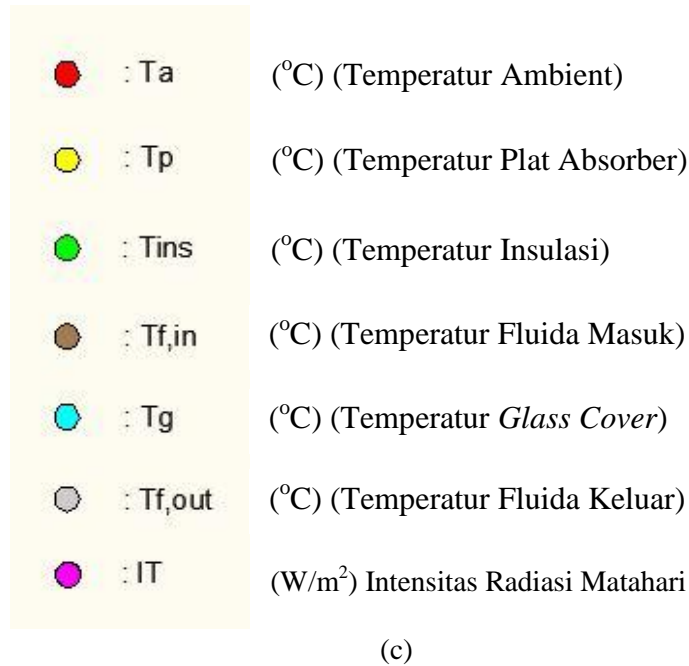
Berikut ini adalah skema perencanaan peletakan thermocouple pada penelitian ini :



(a)



(b)



**Gambar 3.11** Skema Perencanaan Peletakan Thermocouple (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas ,(c) Keterangan Data Temperatur yang Diambil

### 3.4 Tahapan Penelitian

Dalam menyusun tugas akhir ini, digunakan tiga tahap penelitian sebagai berikut : tahap persiapan, tahap pengambilan data dan tahap akhir. Adapun penjelasan masing – masing tahap akan dijelaskan sebagai berikut :

a. Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan peralatan yang akan dipakai dan memastikan semuanya dalam kondisi baik , yaitu : pyranometer, anemometer, thermocouple digital, dan termometer infrared
2. Menginstalasi peralatan yang akan dipakai
3. Mengisi tangki penyimpanan dengan air sebesar 150 L

b. Tahap Pengambilan Data

1. Memastikan kolektor surya dan alat ukur yang dibutuhkan terinstalasi dengan baik
2. Memvariasikan sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) dimulai dari sudut kemiringan kolektor sebesar  $0^\circ$
3. Memvariasikan sudut reflektor ( $\theta_r$ ) dimulai dari sudut reflektor sebesar  $50^\circ$
4. Pengambilan data dimulai pukul 07.00 WIB – 17.00 WIB dan diambil tiap jam di Laboratorium Energi Surya , Teknik Mesin ITS
5. Mencatat data – data yang dibutuhkan untuk tiap variasi sudut reflektor

c. Tahap Akhir

1. Menguras air dari tangki penyimpanan
2. Mengembalikan alat ukur ke tempatnya semua

### 3.5 Data Perencanaan dan Peralatan Penelitian

#### 3.5.1 Parameter yang Diukur

Selama proses pengujian kolektor surya tersebut terdapat parameter – parameter yang diukur . Parameter / data perencanaan yang akan diambil selama proses pengujian kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor adalah sebagai berikut :

1. Temperatur fluida kerja masuk kedalam pipa ( $T_{f,in}$ )
2. Temperatur fluida kerja keluar pipa ( $T_{f,out}$ )

3. Temperatur udara *ambient* ( $T_a$ )
4. Temperatur plat absorber ( $T_p$ )
5. Temperatur *Glass Cover* ( $T_g$ )
6. Kecepatan angin di atas kolektor surya ( $V_a$ )
7. Intensitas matahari total yang jatuh pada permukaan bidang ( $I_T$ )

### 3.5.2 Parameter yang Dicari

Setelah melakukan pengambilan data , hasil akhir yang ingin didapatkan adalah perbandingan efisiensi untuk masing – masing variasi sudut kolektor dan reflektor . Untuk mencari efisiensi menggunakan rumus berikut :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :  $\eta$  = efisiensi kolektor surya

$Q_u$  = kalor yang berguna (W)

$A_c$  = luas kolektor surya ( $m^2$ )

$I_T$  = intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )

### 3.5.3 Grafik Penelitian

Grafik yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Grafik  $I_T = f(\text{waktu})$  untuk masing – masing variasi sudut kolektor dan reflektor
- b. Grafik  $U_L = f(\text{waktu})$  untuk masing – masing variasi sudut kolektor dan reflektor
- c. Grafik  $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$  untuk masing-masing variasi sudut kolektor dan reflektor
- d. Grafik  $Q_{\text{useful}} = f(\text{waktu})$  untuk masing – masing variasi sudut kolektor dan reflektor
- e. Grafik  $\eta = f(\text{waktu})$  untuk masing – masing variasi sudut kolektor dan reflektor

### Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data

[illegible]

### 3.5.4 Peralatan Penelitian

Peralatan – peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa alat uji dan alat bantu untuk pengukuran, antara lain :

1. Kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor
2. *Pyranometer* , digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari yang mencapai bidang. Untuk pembacaan pyranometer digunakan multimeter digital dengan ketelitian 0,01 mV
3. *Anemometer*, digunakan untuk mengukur kecepatan angin
4. *Thermocouple Digital* , digunakan untuk mengetahui masing – masing temperatur di setiap titik pengambilan data yang sudah ditentukan
5. *Rangkaian Thermoselector* , digunakan sebagai *switch* untuk masing – masing titik *thermocouple*





**Gambar 3.12** Pyranometer

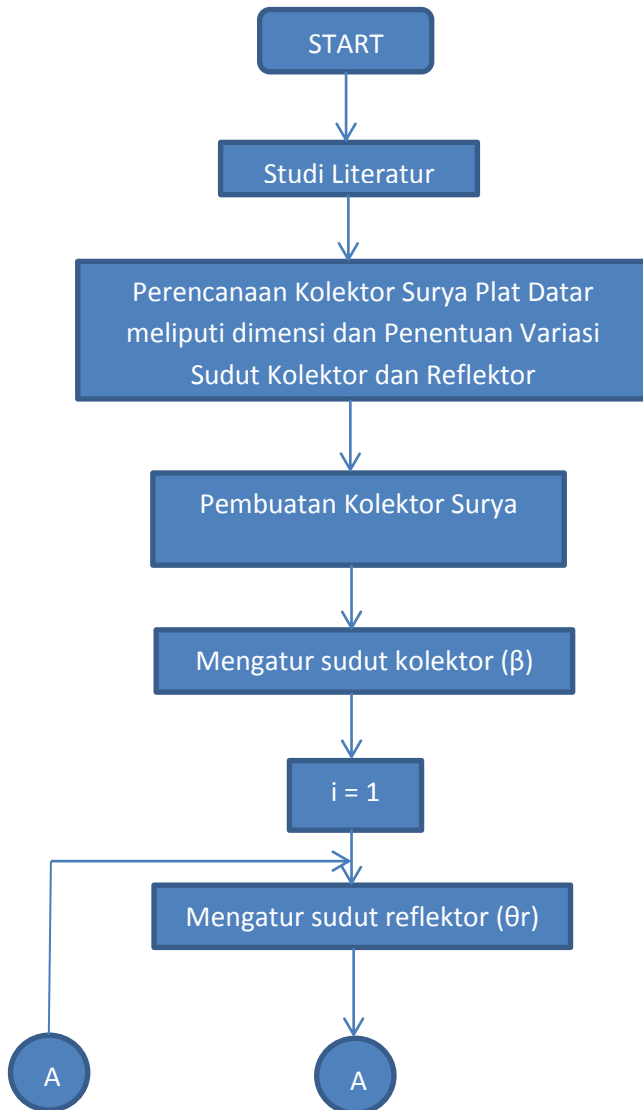


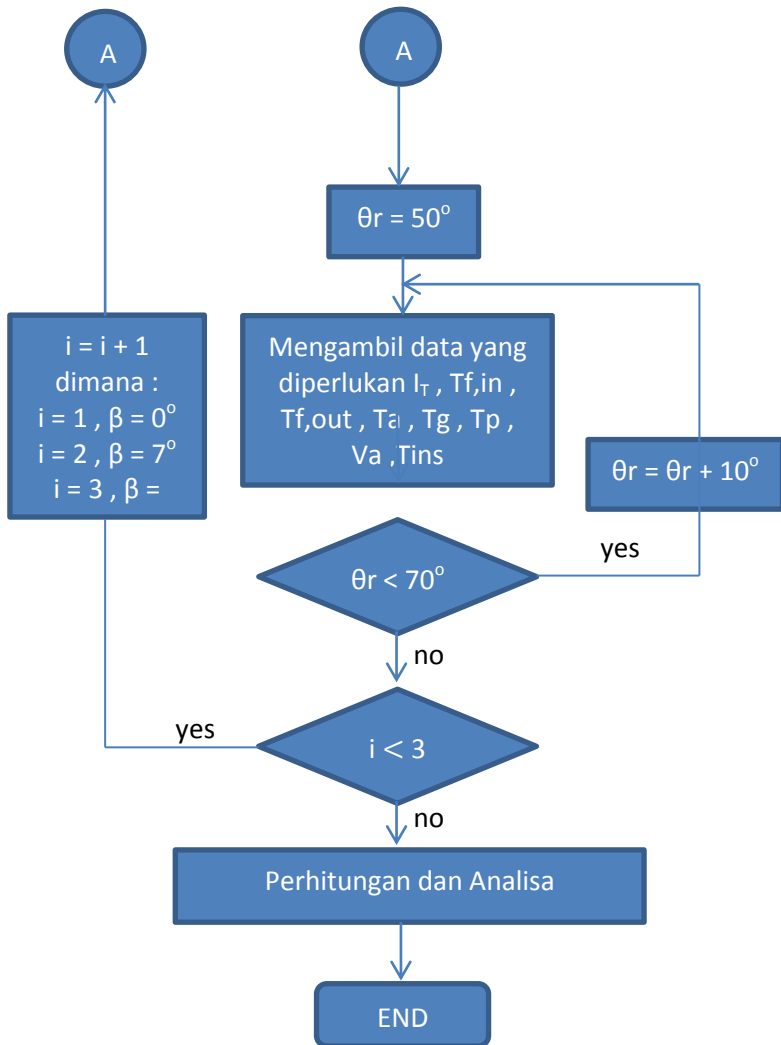
**Gambar 3.13** Anemometer Digital



**Gambar 3.14** Thermocouple Digital

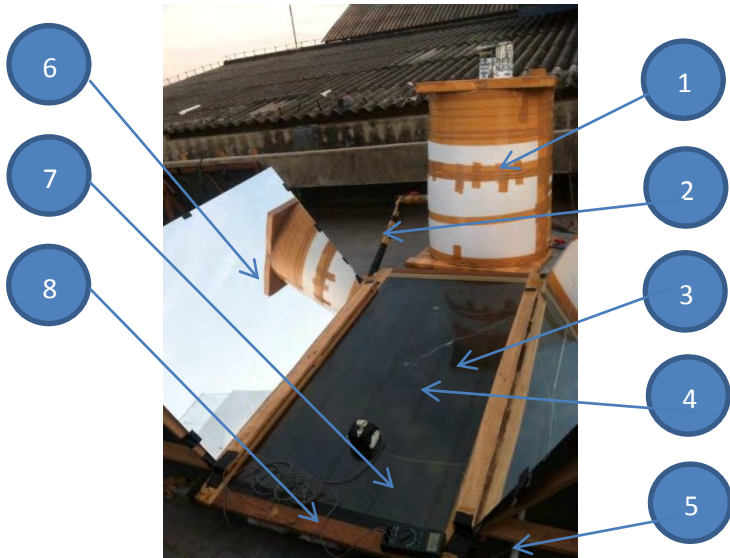
### 3.6 Flowchart Kegiatan Penelitian





## BAB IV ANALISA HASIL PENELITIAN

### 4.1 Data Dimensi Kolektor Surya dan Reflektor



**Gambar 4.1** Kolektor Surya Plat Datar dengan Penambahan Reflektor

Keterangan :

- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| 1. Tangki Air                | 6. Reflektor         |
| 2. Pipa fluida <i>outlet</i> | 7. Plat absorber     |
| 3. <i>Glass Cover</i>        | 8. Kerangka kolektor |
| 4. Pipa tembaga              |                      |
| 5. Pipa fluida <i>inlet</i>  |                      |

Gambar 4.1 adalah alat penelitian tugas akhir ini , yaitu kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor. Secara umum , cara kerja dari kolektor surya plat datar ini yaitu intensitas radiasi matahari yang jatuh diserap oleh plat absorber yang terbuat dari plat seng. Kemudian panas dari plat seng

tersebut akan di transfer ke 4 buah pipa tembaga yang berada di atasnya , dan kemudian dari pipa tembaga akan di transfer ke fluida kerja yang ada di dalam pipa tembaga tersebut yang berupa air. Sehingga air yang berada di dalam pipa tembaga tersebut temperaturnya akan naik. Kemudian air yang ada di dalam tangki air temperaturnya lebih rendah daripada air yang ada di dalam pipa tembaga sehingga akan mendorong air yang ada di pipa tembaga naik melalui pipa fluida *outlet*. Sirkulasi ini akan terjadi secara terus menerus secara alami hingga temperatur air di tangki air sama atau intensitas radiasi matahari tidak mencukupi untuk menaikkan temperatur air di pipa tembaga. Berikut ini adalah data dimensi dari kolektor surya yang telah dibuat :

- Panjang kolektor surya (P) : 150 cm
- Lebar kolektor Surya (L) : 75 cm
- Jarak antara plat absorber dan *Glass Cover* (h) : 5 cm
- Luas kolektor surya ( $A_c$ )
- Pipa pengalir fluida , berjumlah 4 buah terbuat dari tembaga
  1. Diameter Luar ( $D_o$ ) : 1,27 cm
  2. Diameter Dalam ( $D_i$ ) : 1,14 cm
  3. Panjang ( $P_p$ ) : 145 cm
  4. Konduktifitas termal ( $k_{\text{pipa}}$ ) : 401 W/m.K
- *Glass Cover* (kaca penutup) , terbuat dari kaca bening dengan tebal 0,3 cm
  1. Transmisivitas ( $\tau_k$ ) : 0,79
  2. Emisivitas ( $\epsilon_c$ ) : 0,96
- Plat absorber terbuat dari seng dengan tebal 0,03 cm
  1. Absorbsivitas ( $\alpha_p$ ) : 0,97
  2. Emisivitas ( $\epsilon_p$ ) : 0,94
- Insulasi , terbuat dari styrofoam dengan tebal 5 cm
  1. Konduktifitas termal ,  $k_{\text{styrofoam}}$  : 0,033 W/m.K

- Papan triplek dengan tebal 0,3 cm
  1. Konduktifitas termal ,  $k_{\text{triplek}}$  : 0,12 W/m.K
- Reflektor , terbuat dari cermin dengan tebal 2 mm
  1. Panjang Reflektor (Pr) : 150 cm
  2. Lebar Reflektor (Lr) : 75 cm

#### 4.2 Data Hasil Penelitian

Studi eksperimen unjuk kerja kolektor surya yang mempunyai variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) dan sudut reflektor ( $\theta_r$ ) dilakukan di Jurusan Teknik Mesin ITS . Penambahan reflektor bertujuan untuk meningkatkan intensitas radiasi matahari yang jatuh ke bidang kolektor , sehingga diharapkan kalor berguna atau  $Q_{\text{useful}}$  dapat meningkat. Prinsip kerja dari kolektor surya ini memanfaatkan aliran konveksi alami sehingga tidak memerlukan bantuan pompa untuk mengalirkan air. Data penelitian diambil selama 9 hari dari tanggal 26 Mei – 3 Juni 2015 mulai pukul 07.00 – 17.00 WIB dengan rentang pengambilan data 1 jam. Data penelitian dan hasil perhitungan ditampilkan di lembar lampiran.

#### 4.3 Contoh Perhitungan

Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan perhitungan untuk mengetahui performansi kolektor suryadengan penambahan reflektor. Kemudian dilakukan analisa berdasarkan hasil perhitungan. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mengetahui performansi kolektor surya dengan penambahan reflektor dengan variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$  dan sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$

**Adapun data-data untuk contoh perhitungan ini didapatkan dari hasil pengujian pada tanggal 26 Mei 2015 pada pukul 11.00 WIB, yakni sebagai berikut :**

**Tabel 4.1** Data pada variasi ( $\beta$ ) = 0° dan ( $\theta_r$ ) = 50°

Waktu								
	Tp <sub>1</sub>	Tp <sub>2</sub>	Tp <sub>3</sub>	Tp (°C)	Tc <sub>1</sub>	Tc <sub>2</sub>	Tc <sub>3</sub>	Tc (°C)
07.00	32,5	36	36,5	35,00	27,7	29,7	30,3	29,23
08.00	76	78,9	81	78,63	44	45,3	48	45,77
09.00	91,7	92,3	97,1	93,70	57,6	60,4	63	60,33
10.00	89,4	104	105,1	99,50	52,8	59	64	58,60
11.00	88,8	93,2	97,7	93,23	50,1	54,2	58,2	54,17
12.00	100,3	101,1	106,5	102,63	56,3	63	70	63,10
13.00	94	109,1	108,2	103,77	45,8	52,5	57,2	51,83
14.00	76,9	88,9	89,3	85,03	46	50	53,4	49,80
15.00	59,6	43	47,6	50,07	40,9	36,5	39	38,80
16.00	36,6	35,8	36,8	36,40	31,7	30,8	31,2	31,23
17.00	31,9	31,7	31,7	31,77	23,8	23,7	27,9	25,13

Data									
Tf <sub>i</sub> in	Tf <sub>i</sub> out	Ta	Va	It <sub>1</sub>	It <sub>2</sub>	It <sub>3</sub>	IT (mV)	IT (W/m <sup>2</sup> )	Ket
23,7	24,8	27,5	0,1	1,2	1,3	1,3	1,27	165,58	mendung
24	34,3	31,5	2,3	5	5,2	5,6	5,27	688,45	cerah
28,5	42,3	32	0,5	5	5,2	5,5	5,23	684,10	cerah
30,1	51,5	31,5	0,1	6,9	9,1	10,1	8,70	1137,25	cerah
31,4	46,2	32,5	1,5	6,9	8	8	7,63	997,82	cerah
33,9	41,1	32,5	0,1	6,4	8,9	9,4	8,23	1076,25	cerah
34,1	44,3	32	0,5	4,8	4,7	4,6	4,70	614,38	cerah
34,1	45,1	31,5	1,2	4,8	4,7	4,6	4,70	614,38	cerah
34,3	41,1	32,5	0,5	3,4	3,3	3,3	3,33	435,73	cerah
34,4	37,5	30,5	0,4	1,4	0,3	0,4	0,70	91,50	cerah
35,8	36,2	28	0,6	0,1	0,1	0,1	0,10	13,07	cerah

$\eta_{cov}$	0,79	$g$	9,81	$\epsilon_c$	0,96	$A_c$	1,125
$\alpha_{abs}$	0,97	$L$	0,05	$P_p$	1,5	$P$	4,5
$\zeta$	5,67E-08	$\epsilon_p$	0,94	$L_p$	0,75	$C_p$	4180

$kb$	$b$	$\gamma$	$kp$	$\delta$	$W$	$D$	$Di$
429	0,32	0,001	116	0,002	0,29	0,0127	0,0114

**\*Data – data yang lain dilampirkan di bagian lampiran**

1. Intensitas radiasi matahari rata-rata dari 3 titik pengambilan :  $I_T = 7,63 \text{ mV} \times 1000/7,65 = 997,82 \text{ W/m}^2$
2. Temperatur udara *ambient* :  $T_a = 32,5^\circ\text{C} = 305,5^\circ\text{K}$
3. Temperatur *Glass Cover* rata-rata dari 3 titik pengambilan :  $T_c = 54,17^\circ\text{C} = 327,17^\circ\text{K}$
4. Temperatur plat absorber rata-rata dari 3 titik pengambilan:  $T_p = 93,23^\circ\text{C} = 366,23^\circ\text{K}$
5. Temperatur fluida kerja *inlet* :  $T_{f,in} = 31,4^\circ\text{C} = 304,4^\circ\text{K}$
6. Temperatur fluida kerja *outlet* :  $T_{f,out} = 46,2^\circ\text{C} = 319,2^\circ\text{K}$
7. Luas kolektor :  $A_c = 1,125 \text{ m}^2$
8. Tebal styrofoam insulasi ,  $L_{\text{styrofoam}} = 0,05 \text{ m}$
9. Konduktifitas termal styrofoam ,  $K_{\text{styrofoam}} = 0,033 \text{ W/m.K}$
10. Percepatan gravitasi :  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
11. Emisivitas plat absorber :  $\epsilon_p = 0,94$
12. Absorbsivitas plat absorber :  $\alpha_p = 0,97$
13. Emisivitas *Glass Cover* :  $\epsilon_c = 0,96$
14. Transmisivitas *Glass Cover* :  $\eta_c = 0,79$
15. Konstanta Stefan Boltzman  $\zeta = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}$
16. Panas jenis fluida ( $C_p$ ) = 4180 kJ/kg.K

#### 4.3.1 Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari yang mengenai plat absorber

Intensitas radiasi matahari yang mengenai plat absorber dengan kemiringan kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$  dan kemiringan reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  pada pukul 11.00 adalah :



$$S = 1,01 \cdot \tau_c \cdot \alpha_p \cdot I_T$$

$$S = 1,01 \cdot 0,79 \cdot 0,97 \cdot 997,82 = 772,28 \text{ W/m}^2$$

#### 4.3.2 Perhitungan Koefisien Konveksi antara Plat Absorber dan Glass Cover

$$T_{film,p-c} = \frac{(T_p + T_c)}{2} = \frac{(366,23 + 327,17)}{2} = 346,7 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Berdasarkan nilai  $T_{film,p-c}$  maka dari Tabel A.4 *Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure* didapatkan :  $\nu = 20,59 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\alpha = 29,41 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  
 $k = 29,7558 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$

Mencari  $\beta'$  :

$$\beta' = \frac{1}{T_{film,p-c}} = \frac{1}{346,7} = 0,00288 \text{ K}^{-1}$$

Mencari Rayleigh Number :

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} = \frac{9,81 \cdot 0,00288 \cdot (366,23 - 327,17) \cdot 0,05^3}{20,59 \times 10^{-6} \cdot 29,41 \times 10^{-6}} = 228190,89$$

Mencari Nusselt Number

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ -\frac{1708 \cdot (\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ -\frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8 \cdot 0)^{1,6}}{228190,89 \cos 0} \right] \left[ -\frac{1708}{228190,89 \cos 0} \right]^+ \left[ \left( \frac{228190,89 \cos 0}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+$$

$$Nu = 4,81702$$

Mencari koef. Konveksi antara plat absorber dan Glass Cover ( $h_{cv,p-c}$ ) :

$$h_{cv,p-c} = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{4,81702 \cdot 29,7558 \times 10^{-3}}{0,05} = 2,866 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

#### 4.3.3 Perhitungan Koefisien Radiasi antara Plat Absorber dan Glass Cover

Mencari koefisien radiasi antara plat absorber dan Glass Cover :

$$\begin{aligned}
 h_{r,p-c} &= \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \\
 &= \frac{5,67 \times 10^{-8}(366,23^2 + 327,17^2)(366,23 + 327,17)}{\frac{1}{0,94} + \frac{1}{0,96} - 1} \\
 &= 8,5768 \frac{W}{m^2} \cdot K
 \end{aligned}$$

#### 4.3.4 Perhitungan Koefisien Konveksi antara Glass Cover dan Ambient

$$T_{film,p-c} = \frac{(T_c + T_a)}{2} = \frac{(327,17 + 305,5)}{2} = 316,33 \text{ K}$$

Berdasarkan nilai  $T_{film,p-c}$  maka dari Tabel A.4 *Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure* didapatkan :  $\nu = 17,53 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha = 24,92 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  
 $k = 27,51 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$

Mencari panjang karakteristik (L) , sama dengan 4 kali luas plat absorber dibagi keliling plat absorber

$$L = \frac{4 \cdot A_c}{P} = \frac{4 \cdot 1,125}{4,5} = 1 \text{ m}$$

Mencari Reynold Number :

$$Re = \frac{VL}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 1}{17,53 \times 10^{-6}} = 85.552,306$$

Mencari Grashoff Number :

$$\beta' = \frac{1}{T_{film,p-c}} = \frac{1}{316,33} = 0,00316 \text{ K}^{-1}$$

$$Gr = \frac{g\beta'(T_c - T_a)L}{v^2} = \frac{9,81 \cdot 0,00316(54,17 - 32,5) \cdot 1}{(17,53 \times 10^{-6})^2} = 2.185.732.856$$

Karena  $Gr / Re > 1$  , maka termasuk konveksi bebas (*free convection*)

Mencari Rayleigh Number :

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{v \cdot \alpha} = \frac{9,81 \cdot 0,00316 \cdot (327,17 - 305,5) \cdot 1^3}{17,53 \times 10^{-6} \cdot 24,92 \times 10^{-6}} = 1537995462,13$$

Mencari Nusselt Number :

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8 \cdot 0)^{1,6}}{1537995462,13 \cos 0} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{1537995462,13 \cos 0} \right]^+ \left[ \left( \frac{1537995462,13 \cos 0}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+$$

$$Nu = 173,14$$

Mencari koefisien konveksi antara *Glass Cover* dan *ambient* :

$$h_{cv,c-a} = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{173,14 \cdot 27,51 \times 10^{-3}}{1} = 4,7629 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### 4.3.5 Perhitungan Koefisien Radiasi antara *Glass Cover* dan *Ambient*

Mencari nilai  $T_{sky}$  :

$$T_{sky} = 0,0522 T_a^{1,5} = 0,0522 \cdot 305,5^{1,5} = 294,75 K$$

Mencari koefisien radiasi antara *Glass Cover* dan *Ambient*

$$\begin{aligned} h_{r,c-a} &= \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2)(T_c + T_s) \\ &= 0,96 \cdot 5,67 \times 10^{-8} (327,17^2 + 294,75^2)(327,17 + 294,75) \\ &= 6,5645 \frac{W}{m^2} \cdot K \end{aligned}$$

#### 4.3.6 Perhitungan Kerugian Panas Termal Bagian Atas ( $U_t$ )

Mencari tahanan thermal antara plat absorber dan *Glass Cover* ( $R_1$ )

$$R_1 = \frac{1}{h_{cv,p-c} + h_{r,p-c}} = \frac{1}{2,866 + 8,5768} = 0,08739 W/m^2K$$

Mencari tahanan thermal antara *Glass Cover* dan *Ambient* ( $R_2$ )

$$R_2 = \frac{1}{h_{cv,c-a} + h_{r,c-a}} = \frac{1}{4,7629 + 6,5645} = 0,08828 W/m^2K$$

Mencari Kerugian Panas Termal Bagian Atas ( $U_t$ )

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{0,08739 + 0,08828} = 5,6925 W/m^2K$$

#### 4.3.7 Perhitungan Kerugian Panas Termal Bagian Bawah ( $U_b$ )

Mencari tahanan thermal antara plat absorber dan insulasi ( $R_3$ )

$$R_3 = \frac{L_{styrofoam}}{k_{styrofoam}} = \frac{0,05}{0,033} = 1,5152 W/m^2K$$

Mencari Kerugian Panas Termal Bagian Bawah ( $U_b$ )

$$U_b = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1,5152} = 0,66 \text{ } W/m^2K$$

#### 4.3.8 Perhitungan Kerugian Panas Termal Total ( $U_L$ )

Mencari Kerugian Panas Termal Total ( $U_L$ )

$$U_L = U_t + U_b = 5,6925 + 0,66 = 6,3525 \text{ } W/m^2K$$

#### 4.3.9 Perhitungan Faktor Efisiensi Kolektor ( $F'$ )

Mencari nilai konduktansi las :

$$C_b = \frac{k_b b}{\gamma} = \frac{429 \cdot 0,32}{0,001} = 137280 \frac{W}{m} \cdot K$$

Mencari nilai efisiensi fin kolektor surya ( $F$ ) :

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} = \sqrt{\frac{6,3525}{116,0,002}} = 5,2328$$

$$F = \frac{\frac{\tanh\left[\frac{m(W-D)}{2}\right]}{\frac{m(W-D)}{2}}}{\frac{5,2328(0,29-0,0127)}{2}} = \frac{\frac{\tanh\left[\frac{5,2328(0,29-0,0127)}{2}\right]}{\frac{5,2328(0,29-0,0127)}{2}}}{\frac{5,2328(0,29-0,0127)}{2}}$$

$$= 0,855$$

Mencari nilai koefisien konveksi antara pipa tembaga dan fluida kerja :

$$T_{film,p-c} = \frac{\left(\frac{(T_{f,in} + T_{f,out})}{2} + T_p\right)}{2}$$

$$= \frac{\left(\frac{(304,4 + 319,2)}{2} + 366,23\right)}{2} = 339,02 \text{ } K^o$$

Berdasarkan nilai  $T_{\text{film,p} - c}$  maka dari Tabel A.4 *Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure* didapatkan :  $\nu = 19,82 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha = 28,27 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ;

Mencari Rayleigh Number :

$$\beta' = \frac{1}{T_{\text{film,p} - c}} = \frac{1}{339,02} = 0,00294 \text{ K}^{-1}$$

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \\ &= \frac{9,81 \cdot 0,00294 \cdot \left(366,23 - \left[\frac{319,2 + 304,4}{2}\right]\right) \cdot 0,0114^3}{19,82 \times 10^{-6} \cdot 28,27 \times 10^{-6}} \\ &= 4165,21 \end{aligned}$$

Mencari Nusselt Number

$$\begin{aligned} Nu &= 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \\ &= 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8 \cdot 0)^{1,6}}{4165,21 \cos 0} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{4165,21 \cos 0} \right]^+ \left[ \left( \frac{4165,21 \cos 0}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \\ Nu &= 1 \end{aligned}$$

Mencari koef. Konveksi antara pipa dan fluida ( $h_{f,i}$ ) :

$$h_{f,i} = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{1 \cdot 0,14}{0,0114} = 11,0236 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Mencari faktor efisiensi kolektor (F') :

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]}$$

$$= \frac{\frac{1}{6,3525}}{0,29 \left[ \frac{1}{6,3525[0,0127 + (0,29 - 0,0127)0,855]} + \frac{1}{137280} + \frac{1}{\pi \cdot 0,0144 \cdot 11,0236} \right]}$$

$$F' = 0,1715$$

#### 4.3.10 Perhitungan *mass flow rate* (m)

Mencari *mass flow rate* :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{-U_L F' A_c}{C_p \ln \left\{ 1 - \frac{U_L (T_o - T_i)}{S - U_L (T_i - T_a)} \right\}} \\ &= \frac{-6,3525 \cdot 0,1715 \cdot 1,125}{4180 \cdot \ln \left\{ 1 - \frac{6,3525(319,2 - 304,4)}{772,28 - 6,3525(304,4 - 305,5)} \right\}} \\ \dot{m} &= 0,00228 \frac{kg}{s} \end{aligned}$$

#### 4.3.11 Perhitungan Faktor Pelepasan Panas (F<sub>R</sub>)

Mencari Faktor Pelepasan Panas (F<sub>R</sub>) :

$$\begin{aligned} F_R &= \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,out} - T_{f,in})}{A_c [S - U_L (T_{f,in} - T_a)]} \\ &= \frac{0,00228 \cdot 4180 \cdot (319,2 - 304,4)}{1,125 [772,28 - 6,3525(304,4 - 305,5)]} \\ F_R &= 0,161 \end{aligned}$$

#### 4.3.12 Perhitungan Kalor Berguna (Q<sub>useful</sub>)

Mencari Kalor berguna (Q<sub>useful</sub>) :

$$\begin{aligned} Q_u &= A_c F_R [S - U_L (T_{f,in} - T_a)] \\ &= 1,125 \cdot 0,161 [772,28 - 6,3525(304,4 - 305,5)] \\ Q_u &= 141,116 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.3.13 Perhitungan Efisiensi Kolektor Surya tiap Jam ( $\eta$ )

Mencari efisiensi kolektor surya tiap jam ( $\eta$ ) :

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} = \frac{141,116}{997,82 \cdot 1,125} = 13 \%$$

#### 4.3.14 Perhitungan $Q_{\text{useful total}}$

Mencari  $Q_{\text{useful total}}$

**Tabel 4.2** Data  $Q_u$  overall

No	Jam	$Q_u$	$Q_u$ <i>overall</i>
1	7	36,20833	
2	8	112,0123	74,110296
3	9	95,39329	103,70277
4	10	153,2922	124,34273
5	11	141,1162	147,20421
6	12	146,9557	144,03598
7	13	81,95807	114,45689
8	14	84,61546	83,286766
9	15	70,76878	77,692119
10	16	11,89833	41,333555
11	17	6,632493	9,2654122
		<b><math>Q_u</math> total</b>	919,43073

$$Q_{u \text{ overral}} = \frac{(Q_{u1} + Q_{u2})}{2} \cdot \Delta \text{jam}$$

$$Q_{u \text{ total}} = Q_{u \text{ overall } 1} + Q_{u \text{ overall } 2} + Q_{u \text{ overall } 3} + \dots + Q_{u \text{ overall } 11}$$



#### 4.3.14 Perhitungan Konstanta Pembanding (C)

Mencari  $I_{T \text{ rata-rata}}$  semua variasi

**Tabel 4.3** Nilai IT total untuk tiap variasi

No	Variasi		IT <sub>total</sub>
1	$\beta = 0^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6429,19
2		$\theta_r = 60^\circ$	6063,18
3		$\theta_r = 70^\circ$	6228,76
4	$\beta = 7^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6274,51
5		$\theta_r = 60^\circ$	6215,69
6		$\theta_r = 70^\circ$	6039,22
7	$\beta = 13^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6773,42
8		$\theta_r = 60^\circ$	6660,13
9		$\theta_r = 70^\circ$	6525,05

$$\begin{aligned}
 I_{T \text{ rata-rata}} &= \frac{I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + I_{T4} + I_{T5} + I_{T6} + I_{T7} + I_{T8} + I_{T9}}{9} \\
 &= \frac{6429,19 + 6063,18 + 6228,76 + 6274,51 + 6215,69 + 6039,22 + 6773,42 + 6660,13 + 6525,05}{9} \\
 &= 6356,57 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Mencari Konstanta Pembanding (C)

$$C = \frac{I_{T \text{ total}}}{I_{T \text{ rata-rata}}} = \frac{6429,194}{6356,57} = 1,01$$

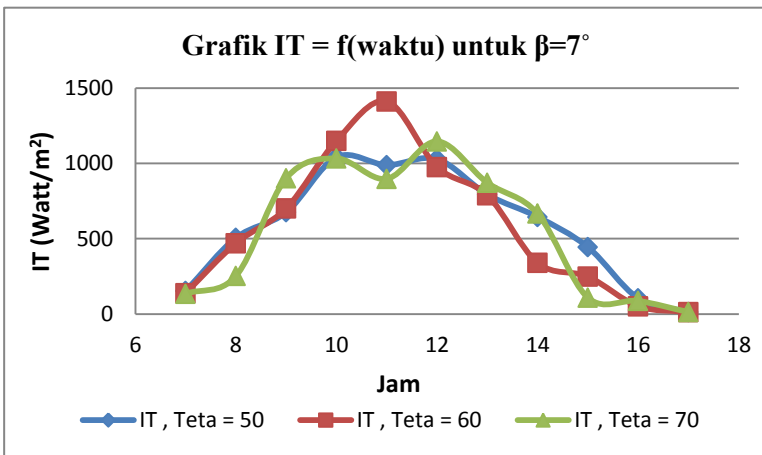
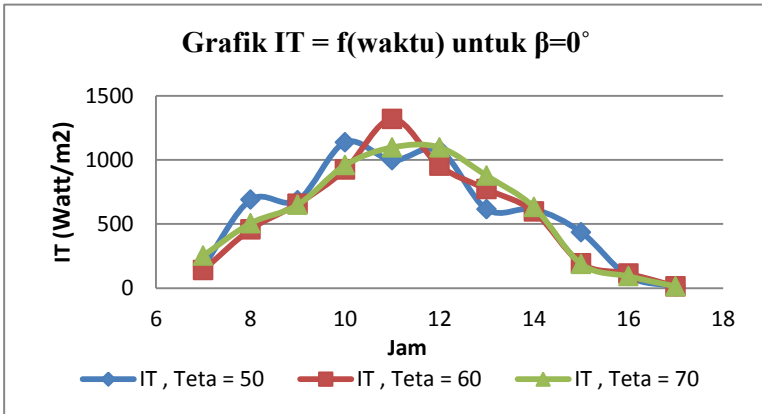
#### 4.3.15 Perhitungan Efisiensi Total Kolektor Surya dalam Sehari ( $\eta_{\text{total}}$ )

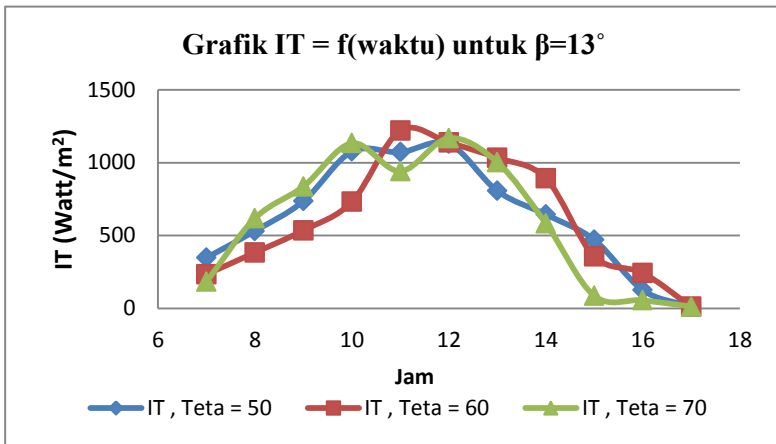
Mencari efisiensi total kolektor surya ( $\eta_{\text{total}}$ ) :

$$\eta_{\text{total}} = C \frac{Q_{u \text{ total}}}{I_{T \text{ total}} A_c} = 1,01 \frac{919,43}{6356,57 \cdot 1,125} = 12,86 \%$$

#### 4.4 Pembahasan Grafik

##### 4.4.1 Pembahasan Grafik $I_T = f(\text{waktu})$





**Gambar 4.2** Grafik radiasi yang jatuh pada permukaan kolektor surya

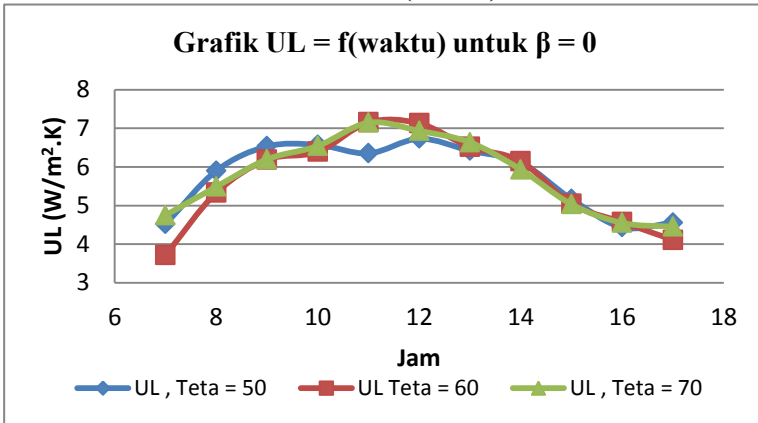
Berdasarkan gambar 4.2 . Dapat terlihat bahwa *trendline* grafik radiasi naik kemudian setelah mencapai puncak turun kembali. Hampir semua grafik intensitas radiasi di atas mengalami titik puncak/*peak* pada saat pengambilan data pada pukul 11.00 WIB. Pada ketiga variasi sudut kolektor yaitu  $\beta = 0^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $13^\circ$ , nilai intensitas radiasi paling tinggi pada saat *peak* atau saat matahari berada pada posisi *solar noon* dimiliki oleh variasi reflektor ( $\theta_r$ ) =  $60^\circ$  dengan nilai masing – masing  $1320,261 \text{ W/m}^2$  ;  $1411,76 \text{ W/m}^2$  ; dan  $1220,04 \text{ W/m}^2$ , hal ini sesuai dengan teori bahwa nilai intensitas radiasi saat matahari berada pada posisi *solar noon* akan bernilai optimum apabila reflektor dipasang pada sudut  $60^\circ$ . Tetapi apabila nilai intensitas radiasi dihitung secara keseluruhan selama 1 hari , ternyata nilai tertinggi untuk setiap variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $13^\circ$  dimiliki oleh variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  dengan nilai masing-masing  $6518,52 \text{ W/m}^2$  ;  $6357,29 \text{ W/m}^2$  ;  $6954,248 \text{ W/m}^2$ .

Besarnya radiasi yang jatuh pada permukaan kolektor surya dipengaruhi oleh besarnya sudut jam (*hour angle*). Hal tersebut dikarenakan semakin kecil nilai dari sudut jam (*hour angle*) yang terbentuk atau dengan kata lain semakin mendekati

*solar noon*, maka akan semakin besar radiasi yang jatuh ke permukaan kolektor surya. Pada pagi dan sore hari, besar radiasi yang diterima kolektor surya lebih rendah dibandingkan saat siang hari dikarenakan sudut jam (*hour angle*) yang terbentuk pada pagi dan sore hari sangat besar bila dibandingkan dengan siang hari. Dan *solar noon* di Surabaya selama rentang waktu pengambilan data yakni sekitar pukul 11.00 WIB.

Selain itu, penambahan reflektor dapat meningkatkan intensitas radiasi yang jatuh ke kolektor surya. Sudut kemiringan kolektor dan sudut kemiringan reflektor sangat berpengaruh terhadap besar radiasi matahari yang jatuh ke permukaan kolektor surya. Secara keseluruhan dalam 1 hari, dapat dikatakan bahwa sudut reflektor yang paling optimum adalah sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$ .

#### 4.4.2 Pembahasan Grafik $U_L = f(\text{waktu})$



**Gambar 4.3** Grafik  $U_L = f(\text{waktu})$  untuk  $\beta = 0$

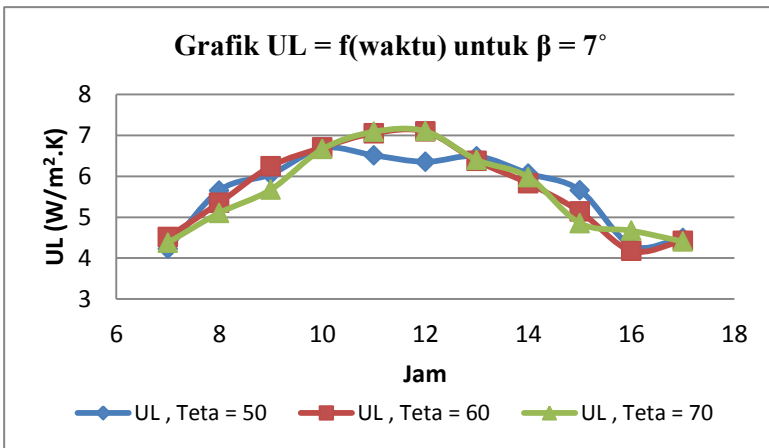
Gambar di atas menunjukkan grafik koefisien kehilangan panas total kolektor. Grafik di atas memiliki trendline naik kemudian setelah mencapai puncak akan turun kembali. Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  bernilai  $6,731 \text{ W/m}^2.K$  dan  $4,519 \text{ W/m}^2.K$ . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 60^\circ$  bernilai  $7,154 \text{ W/m}^2.K$  dan  $3,718 \text{ W/m}^2.K$ . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 70^\circ$  bernilai  $7,148 \text{ W/m}^2.K$  dan  $4,453 \text{ W/m}^2.K$ .

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa  $U_L$  memiliki trendline naik, kemudian turun kembali setelah mencapai puncaknya. Secara teori radiasi dari Stefan Boltzman, hubungan antara radiasi matahari dengan temperatur adalah sebagai berikut,

$$I_T = e(\Delta T)^4$$

Dimana  $I_T$  adalah intensitas radiasi matahari,  $e$  adalah emisivitas benda padat dan  $\Delta T$  adalah selisih temperatur. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang jatuh ke kolektor surya maka semakin tinggi pulatemperatur plat absorber dan *Glass Cover* sehingga nilai  $U_L$  juga akan semakin besar. Karena itu, nilai  $U_L$  tertinggi berada pada siang hari saat intensitas matahari paling tinggi. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa secara

keseluruhan dalam sehari nilai  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  adalah yang terendah . Hal ini dikarenakan temperatur plat absorber dan temperatur kaca untuk  $\theta_r = 50^\circ$  lebih rendah daripada  $\theta_r = 60^\circ$  dan  $\theta_r = 70^\circ$ . Karena itu, koefisien kehilangan panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dengan *Glass Cover* dan *Glass Cover* dengan lingkungan juga lebih kecil. Sehingga panas berguna (Quseful) yang ditransfer ke fluida kerja lebih besar.



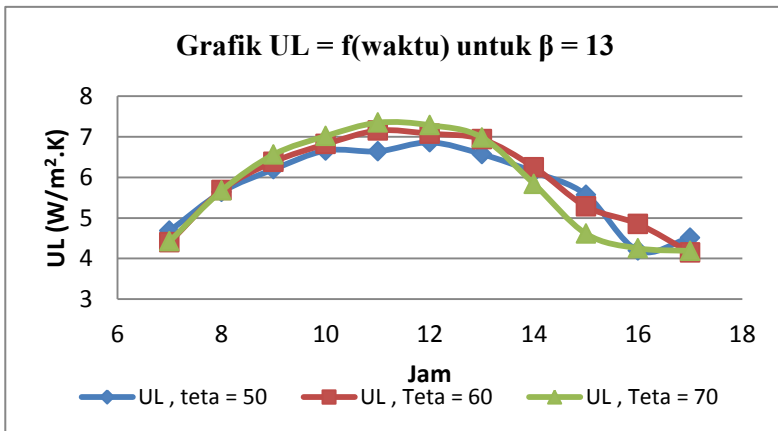
**Gambar 4.4** Grafik  $U_L = f(\text{waktu})$  untuk  $\beta = 7^\circ$

Gambar di atas menunjukkan grafik koefisien kehilangan panas total kolektor . Grafik di atas memiliki trendline naik kemudian setelah mencapai puncak akan turun kembali. Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  bernilai 6,688  $W/m^2.K$  dan 4,228  $W/m^2.K$  . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 60^\circ$  bernilai 7,092  $W/m^2.K$  dan 4,179  $W/m^2.K$  . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 70^\circ$  bernilai 7,1  $W/m^2.K$  dan 4,377  $W/m^2.K$  .

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa  $U_L$  memiliki trendline naik , kemudian turun kembali setelah mencapai puncaknya. Secara teori radiasi dari Stefan Boltzman , hubungan antara radiasi matahari dengan temperatur adalah sebagai berikut,

$$I_T = e(\Delta T)^4$$

Dimana  $I_T$  adalah intensitas radiasi matahari,  $\epsilon$  adalah emisivitas benda padat dan  $\Delta T$  adalah selisih temperatur. Semakin tinggi radiasi matahari yang jatuh di kolektor surya maka nilai  $U_L$  juga akan semakin besar. Karena itu, nilai  $U_L$  tertinggi berada pada siang hari saat intensitas matahari paling tinggi. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa secara keseluruhan dalam sehari nilai  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  adalah yang terendah. Hal ini dikarenakan temperatur plat absorber dan temperatur kaca untuk  $\theta_r = 50^\circ$  lebih rendah daripada  $\theta_r = 60^\circ$  dan  $\theta_r = 70^\circ$ . Karena itu, koefisien kehilangan panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dengan *Glass Cover* dan *Glass Cover* dengan lingkungan juga lebih kecil. Sehingga panas berguna (Quseful) yang ditransfer ke fluida kerja lebih besar.



**Gambar 4.5** Grafik  $U_L = f(\text{waktu})$  untuk  $\beta = 13$

Gambar di atas menunjukkan grafik koefisien kehilangan panas total kolektor. Grafik di atas memiliki trendline naik kemudian setelah mencapai puncak akan turun kembali. Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  bernilai  $6,862 \text{ W/m}^2.\text{K}$  dan  $4,514 \text{ W/m}^2.\text{K}$ . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 60^\circ$  bernilai  $7,154 \text{ W/m}^2.\text{K}$  dan  $4,147$

$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  . Titik tertinggi dan terendah pada grafik  $U_L$  untuk  $\theta_r = 70^\circ$  bernilai  $7,349 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  dan  $4,186 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  .

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa  $U_L$  memiliki trendline naik , kemudian turun kembali setelah mencapai puncaknya. Secara teori radiasi dari Stefan Boltzman , hubungan antara radiasi matahari dengan temperatur adalah sebagai berikut,

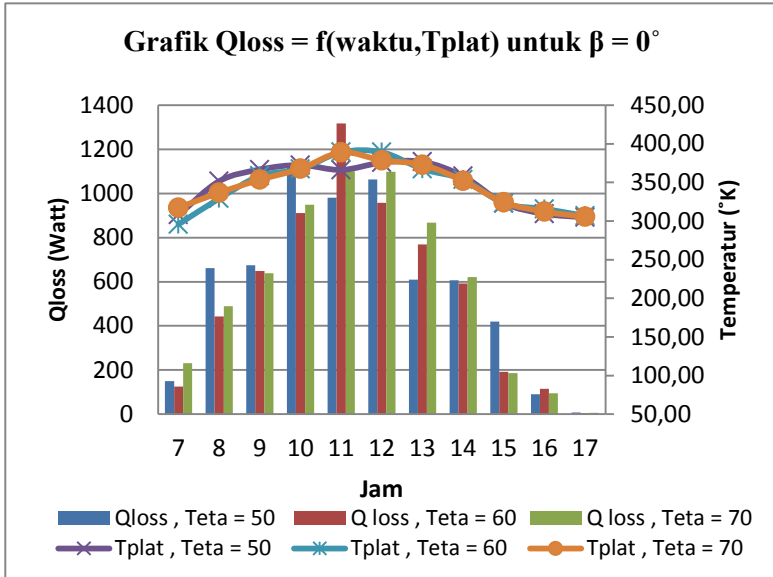
$$I_T = e(\Delta T)^4$$

Dimana  $I_T$  adalah intensitas radiasi matahari ,  $e$  adalah emisivitas benda padat dan  $\Delta T$  adalah selisih temperatur. Semakin tinggi radiasi matahari yang jatuh di kolektor surya maka nilai  $U_L$  juga akan semakin besar. Karena itu , nilai  $U_L$  tertinggi berada pada siang hari saat intensitas matahari paling tinggi. Dari gambar di atas dapat di lihat bahwa secara keseluruhan dalam sehari nilai  $U_L$  untuk  $\theta_r = 50^\circ$  adalah yang terendah . Hal ini dikarenakan temperatur plat absorber dan temperatur kaca untuk  $\theta_r = 50^\circ$  lebih rendah daripada  $\theta_r = 60^\circ$  dan  $\theta_r = 70^\circ$  . Karena itu, koefisien kehilangan panas konveksi dan radiasi antara plat absorber dengan *Glass Cover* dan *Glass Cover* dengan lingkungan juga lebih kecil. Sehingga panas berguna (Quseful) yang ditransfer ke fluida kerja lebih besar.



#### 4.4.3 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$

##### 4.4.3.1 Pembahasan Grafik $Q_{\text{loss}}$ untuk $\beta = 0^\circ$



**Gambar 4.6** Grafik  $Q_{\text{loss}} = f(\text{waktu}, T_{\text{plat}})$  untuk  $\beta = 0^\circ$

Gambar di atas adalah grafik hubungan antara  $Q_{\text{loss}}$  dengan temperatur plat absorber untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ . Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa trendline grafik  $Q_{\text{loss}}$  mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00 – 11.00 WIB. Setelah itu grafik  $Q_{\text{loss}}$  mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai  $Q_{\text{loss}}$  tertinggi untuk masing-masing variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah 1126,119 Watt ; 1316,778 Watt ; dan 1101,277 Watt. Sedangkan untuk trendline grafik temperatur plat absorber memiliki trendline yang hampir sama dengan  $Q_{\text{loss}}$ , yaitu mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00-

11.00 WIB. Setelah itu grafik temperatur plat absorber mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai temperatur plat absorber tertinggi untuk masing – masing variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah  $376,77^\circ\text{K}$  ;  $389,10^\circ\text{K}$  ; dan  $388,87^\circ\text{K}$ .

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa berdasarkan perumusan di bawah ini, nilai  $Q_{loss}$  berbanding lurus dengan temperatur plat absorber.

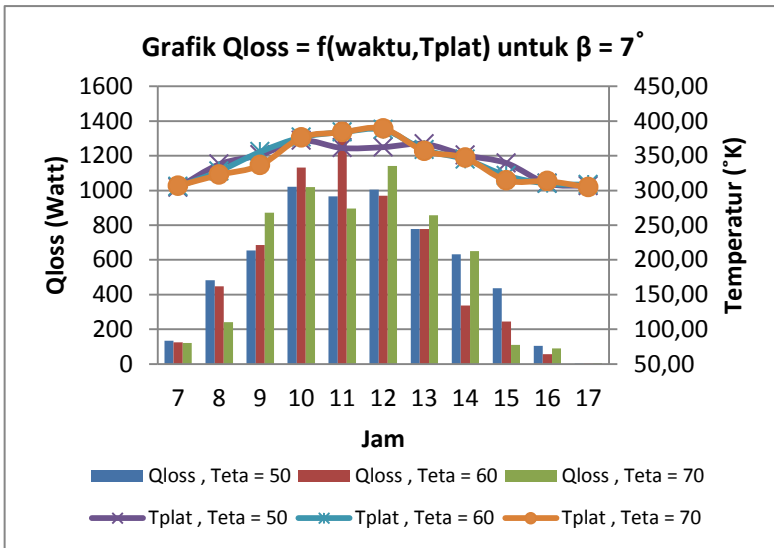
$$q_{loss,top1} = (h_{cv,p-c} + h_{r,p-c})(T_p - T_c)$$

$$q_{loss,top2} = (h_{cv,c-a} + h_{r,c-a})(T_c - T_a)$$

$$q_{loss,bot} = k_{ins}(T_p - T_a)$$

Semakin tinggi temperatur plat absorber maka semakin besar pula  $Q_{loss}$  yang terjadi. Hal ini disebabkan apabila temperatur plat absorber semakin tinggi , maka perbedaan temperatur di antara plat absorber dan lingkungan semakin besar , sehingga koefisien konveksinya semakin besar dan  $Q_{loss}$  yang terjadi akan semakin besar pula. Karena itu , di kolektor surya tidak selalu temperatur plat absorber semakin tinggi maka semakin baik pula performa kolektor surya tersebut. Justru sebaliknya , semakin tinggi temperatur plat absorber menyebabkan  $Q_{loss}$  semakin tinggi yang akhirnya mengurangi performa dari kolektor surya itu sendiri.

#### 4.4.3.2 Pembahasan Grafik Qloss untuk $\beta = 7^\circ$



**Gambar 4.7** Grafik Qloss = f(waktu, Tplat) untuk  $\beta = 7^\circ$

Gambar di atas adalah grafik hubungan antara Qloss dengan temperatur plat absorber untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ . Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa trendline grafik Qloss mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00 – 11.00 WIB. Setelah itu grafik Qloss mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai Qloss tertinggi untuk masing-masing variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah 1020,7 Watt ; 1394,44 Watt ; dan 1141,937 Watt. Sedangkan untuk trendline grafik temperatur plat absorber memiliki trendline yang hampir sama dengan Qloss, yaitu mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00-11.00 WIB. Setelah itu grafik temperatur plat absorber mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai temperatur plat absorber tertinggi untuk masing – masing variasi

sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah  $371,93^\circ\text{K}$  ;  $387,5^\circ\text{K}$  ; dan  $389,17^\circ\text{K}$ .

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa berdasarkan perumusan di bawah ini, nilai  $Q_{loss}$  berbanding lurus dengan temperatur plat absorber.

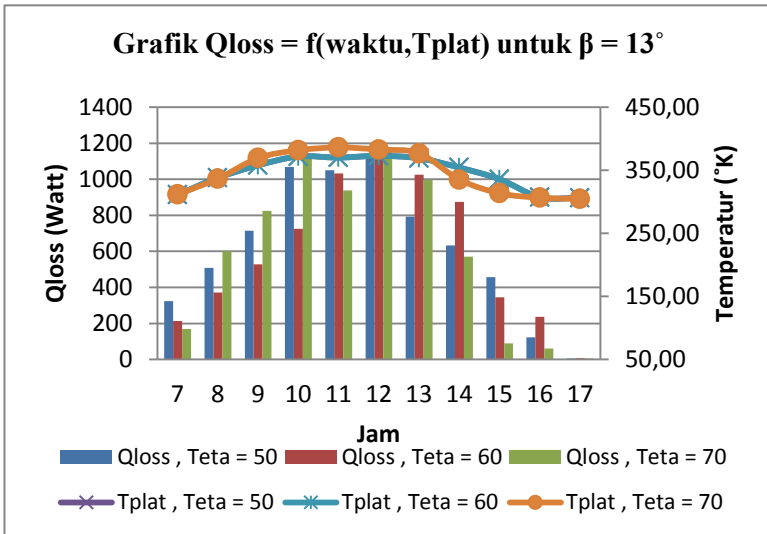
$$q_{loss,top1} = (h_{cv,p-c} + h_{r,p-c})(T_p - T_c)$$

$$q_{loss,top2} = (h_{cv,c-a} + h_{r,c-a})(T_c - T_a)$$

$$q_{loss,bot} = k_{ins}(T_p - T_a)$$

Semakin tinggi temperatur plat absorber maka semakin besar pula  $Q_{loss}$  yang terjadi. Hal ini disebabkan apabila temperatur plat absorber semakin tinggi , maka perbedaan temperatur di antara plat absorber dan lingkungan semakin besar , sehingga koefisien konveksinya semakin besar dan  $Q_{loss}$  yang terjadi akan semakin besar pula. Karena itu , di kolektor surya tidak selalu temperatur plat absorber semakin tinggi maka semakin baik pula performa kolektor surya tersebut. Justru sebaliknya , semakin tinggi temperatur plat absorber menyebabkan  $Q_{loss}$  semakin tinggi yang akhirnya mengurangi performa dari kolektor surya itu sendiri.

#### 4.4.3.3 Pembahasan Grafik Qloss untuk $\beta = 13^\circ$



**Gambar 4.8** Grafik Qloss = f(waktu, Tplat) untuk  $\beta = 13^\circ$

Gambar di atas adalah grafik hubungan antara Qloss dengan temperatur plat absorber untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ . Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa trendline grafik Qloss mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00 – 11.00 WIB. Setelah itu grafik Qloss mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai Qloss tertinggi untuk masing-masing variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah 1067,1 Watt ; 1127,4 Watt ; dan 1159, 7 Watt. Sedangkan untuk trendline grafik temperatur plat absorber memiliki trendline yang hampir sama dengan Qloss, yaitu mengalami peningkatan mulai dari pukul 07.00 WIB dan mencapai puncak sekitar pukul 10.00-11.00 WIB. Setelah itu grafik temperatur plat absorber mengalami penurunan hingga pengambilan data terakhir pukul 17.00. Nilai temperatur plat absorber tertinggi untuk masing – masing variasi

sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ,  $60^\circ$  dan  $70^\circ$  adalah  $372,8^\circ\text{K}$  ;  $385,2^\circ\text{K}$  ; dan  $386,17^\circ\text{K}$ .

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa berdasarkan perumusan di bawah ini, nilai  $Q_{loss}$  berbanding lurus dengan temperatur plat absorber.

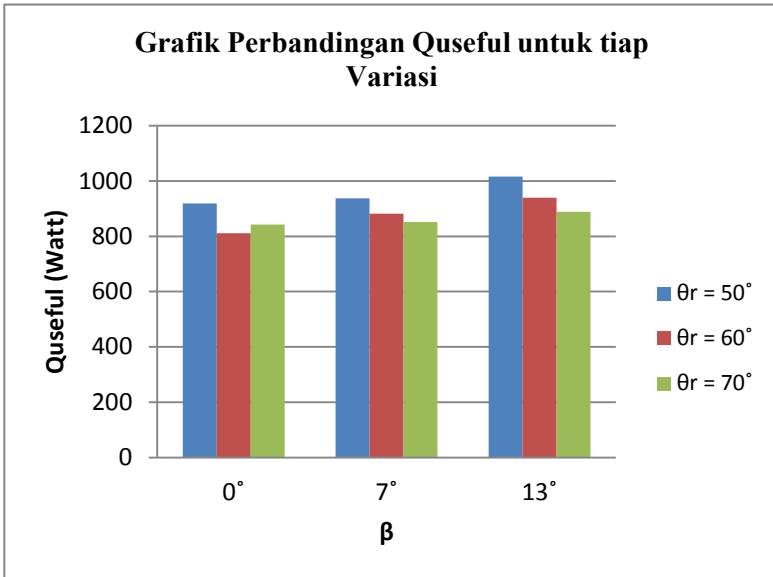
$$q_{loss,top1} = (h_{cv,p-c} + h_{r,p-c})(T_p - T_c)$$

$$q_{loss,top2} = (h_{cv,c-a} + h_{r,c-a})(T_c - T_a)$$

$$q_{loss,bot} = k_{ins}(T_p - T_a)$$

Semakin tinggi temperatur plat absorber maka semakin besar pula  $Q_{loss}$  yang terjadi. Hal ini disebabkan apabila temperatur plat absorber semakin tinggi , maka perbedaan temperatur di antara plat absorber dan lingkungan semakin besar , sehingga koefisien konveksinya semakin besar dan  $Q_{loss}$  yang terjadi akan semakin besar pula. Karena itu , di kolektor surya tidak selalu temperatur plat absorber semakin tinggi maka semakin baik pula performa kolektor surya tersebut. Justru sebaliknya , semakin tinggi temperatur plat absorber menyebabkan  $Q_{loss}$  semakin tinggi yang akhirnya mengurangi performa dari kolektor surya itu sendiri.

#### 4.4.4 Grafik Perbandingan Quseful Total dalam sehari untuk tiap variasi



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Quseful total dalam sehari untuk tiap variasi

Dari Gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai Quseful total dalam sehari selalu meningkat seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) untuk variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) yang sama. Untuk variasi sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$  dan variasi sudut kemiringan reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ;  $60^\circ$  ; dan  $70^\circ$  nilai Quseful masing – masing adalah 919,43 W ; 811,70 W ; dan 842,74 W. Untuk variasi sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) =  $7^\circ$  dan variasi sudut kemiringan reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ;  $60^\circ$  ; dan  $70^\circ$  nilai Quseful masing – masing adalah 937,02 W ; 881,70 W ; dan 851,66 W. Sedangkan untuk variasi sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$  dan variasi sudut kemiringan reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  ;  $60^\circ$  ; dan  $70^\circ$  nilai Quseful masing – masing adalah 1015,77 W ; 939,83 W ; dan 888,37 W.

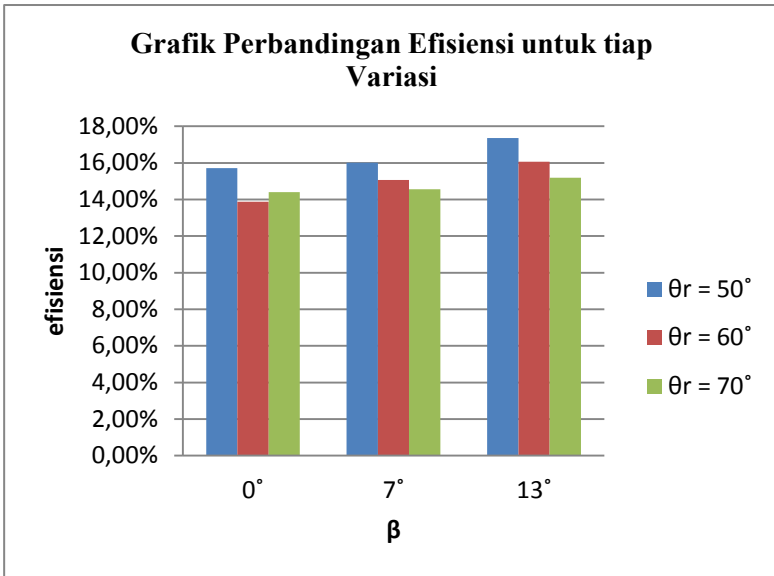
Energi berguna atau Quseful jika ditinjau melalui solar kolektor merupakan fungsi dari temperatur fluida *inlet* , temperatur udara *ambient* , koefisien kehilangan panas total , faktor pelepasan panas serta intensitas radiasi matahari. Energi berguna atau Quseful akan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari dan faktor pelepasan panas . Peningkatan energi berguna juga terjadi seiring dengan menurunnya koefisien kehilangan panas total dan selisih dari temperatur fluida *inlet* dengan temperatur udara *ambient*. Seperti rumus di bawah ini

$$Q_u = A_c \cdot F_R (S - U_L [T_i - T_a])$$

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa energi berguna atau Quseful untuk variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) = 50° memiliki nilai Quseful yang terbesar untuk tiap variasi sudut kolektor ( $\beta$ ). Hal ini dikarenakan pada ( $\theta_r$ ) = 50° nilai koefisien kehilangan panas totalnya lebih kecil daripada ( $\theta_r$ ) = 60° ; dan 70 °. Secara teori apabila nilai koefisien kehilangan panas total semakin mengecil maka nilai faktor pelepasan panas akan meningkat , sehingga menyebabkan nilai Quseful dapat meningkat pula.



#### 4.4.5 Grafik Perbandingan Efisiensi Total dalam sehari untuk masing-masing variasi



**Gambar 4.10** Grafik Perbandingan Efisiensi Total dalam sehari untuk masing-masing variasi

Dari grafik di atas menunjukkan Trendline naik dari efisiensi untuk masing – masing variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ). Untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) = 0° dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) = 50° ; 60° ; dan 70° memiliki nilai efisiensi masing – masing sebesar 12,86 % ; 11,35 % ; dan 11,78 %. Untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) = 7° dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) = 50° ; 60° ; dan 70° memiliki nilai efisiensi masing – masing sebesar 13,10 % ; 12,33 % ; dan 11,91 %. Sedangkan untuk variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) = 13° dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) = 50° ; 60° ; dan 70° memiliki nilai efisiensi masing – masing sebesar 14,20 % ; 13,14 % ; dan 12,42 %.

Dari penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan , kemudian akan didapatkan unjuk kerja (performansi) dari

kolektor surya. Unjuk kerja dari kolektor surya dapat diartikan sebagai rasio atau perbandingan antara energi berguna atau *Q<sub>useful</sub>* dengan energi yang diterima oleh kolektor surya. Nilai efisiensi ini menunjukkan baik atau tidak kolektor surya yang kita uji guna mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi berguna ke fluida kerja yaitu air . Hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar dimiliki oleh variasi  $(\theta_r) = 50^\circ$  untuk tiap variasi kolektor surya ( $\beta$ ). Hal ini sesuai dengan peningkatan energi berguna atau *Q<sub>useful</sub>* , dimana apabila *Q<sub>useful</sub>* meningkat maka nilai efisiensi juga akan meningkat . Seperti rumus di bawah ini

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c}$$

Selain itu , peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh beberapa faktor lain, yakni energi yang berguna , faktor pelepasan panas, koefisien kehilangan panas total , temperatur fluida *inlet* , temperatur udara *ambient* dan faktor dari intensitas radiasi matahari yang jatuh ke kolektor surya, jadi dalam pengambilan data seiring dengan kenaikan intensitas matahari maka nilai efisiensi juga akan mengalami peningkatan.

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa variasi  $(\theta_r) = 50^\circ$  memiliki nilai efisiensi terbesar , hal ini dikarenakan oleh faktor koefisien kehilangan panas total yang lebih kecil daripada  $(\theta_r) = 60^\circ$  ; dan  $70^\circ$  sehingga *Q<sub>useful</sub>* yang dihasilkan lebih besar dan akan menghasilkan efisiensi yang lebih besar pula.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan Studi Eksperimen

Setelah dilaksanakan eksperimen pada kolektor surya plat datar dengan penambahan reflektor dengan variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ), lalu analisis data dengan menampilkan visualisasi hasil dalam bentuk grafik, maka penulis akan memberikan kesimpulan mengenai eksperimen ini.

Kesimpulan yang dapat disampaikan adalah :

1. Sudut reflektor ( $\theta_r$ ) optimum untuk setiap variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $0^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $13^\circ$  adalah  $\theta_r = 50^\circ$  dengan nilai  $I_{T \text{ overall}}$  masing – masing adalah  $6518,52 \text{ W/m}^2$ ;  $6357,29 \text{ W/m}^2$  dan  $6954,248 \text{ W/m}^2$
2. Koefisien kehilangan panas total kolektor surya ( $U_L$ ) pada kolektor surya plat datar dengan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  memiliki nilai terkecil dibandingkan dengan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $60^\circ$  dan  $70^\circ$
3. Nilai  $Q_{\text{loss}}$  dari kolektor surya berbanding lurus dengan temperatur plat absorber. Semakin tinggi temperatur plat absorber maka semakin besar pula  $Q_{\text{loss}}$  yang terjadi
4. Nilai kalor berguna ( $Q_{\text{useful}}$ ) pada kolektor surya plat datar dengan variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $13^\circ$  dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  paling besar dibandingkan variasi sudut yang lain. Dengan nilai  $Q_{\text{useful}}$  sebesar 1015,77 watt
5. Efisiensi kolektor surya plat datar dengan variasi sudut kolektor ( $\beta$ ) =  $13^\circ$  dan variasi sudut reflektor ( $\theta_r$ ) =  $50^\circ$  lebih besar daripada variasi sudut yang lain . Dengan nilai efisiensi sebesar 14,20%

**Tabel 5.1** Nilai Quseful dan Efisiensi Total untuk Masing-masing Variasi

Quseful				
	Qu	$\theta_r$		
		50°	60°	70°
$\beta$	0°	919,43	811,70	842,74
	7°	937,02	881,70	851,66
	13°	1015,77	939,83	888,37

Efisiensi Total ( $\eta_{total}$ )				
	$\eta_{total}$	$\theta_r$		
		50°	60°	70°
$\beta$	0°	12,86%	11,35%	11,78%
	7°	13,10%	12,33%	11,91%
	13°	14,20%	13,14%	12,42%

## 5.2 Saran

Pengembangan teknologi ke depannya merupakan kunci sukses dari bangsa ini. Maka, penulis memberikan saran dari studi eksperimen yang telah dilakukan untuk perkembangan teknologi secara umum, khususnya pada sektor energi. Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Perlu studi eksperimen lebih lanjut untuk membandingkan performa antara variasi penambahan reflektor pada bagian barat-timur dan penambahan reflektor pada bagian utara-selatan.
2. Penggunaan material pembuat kolektor surya dapat dipertimbangkan juga dalam studi ke depannya. Seperti material plat absorber dan pipa pengalir fluida yang tepat untuk memaksimalkan intensitas radiasi matahari yang jatuh ke kolektor surya

## DAFTAR PUSTAKA

1. John A. Duffie dan Willian A. Beckman. *Solar Engineering Of Thermal Processes*. 2<sup>nd</sup> ed. Canada : John Wiley & Sons, Inc. ; 1991.
2. K.K. Chong\*, K.G. Chay, K.H. Chin., Agustus 2011. “Study of a solar water heater using stationary V-trough collector” **Renewable Energy** 39 (2012) 207-215
3. Zoran T. Pavlovi\_c, Ljiljana T. Kostic, November 2014. “Variation of reflected radiation from all reflectors of a flat plate solar collector during a year” **Energy** 80 (2015) 75-84
4. Rahardjo Tirtiatmodjo , Ekadewi Anggraini Handoyo. Oktober 1999 “Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Plat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup” **Jurnal Teknik Mesin** Vol 1, No. 2, 116-121
5. M. Sumarsono. Agustus 2005 “OPTIMASI JUMLAH PIPA-PEMANAS TERHADAP KINERJA KOLEKTOR SURYA PEMANAS AIR” **Jurnal Ilmiah Teknologi Energi**, Vol.1, No.1
6. Kalogirou, Soteris. *Solar Energy Engineering : Processes and Systems*. 1<sup>st</sup> ed. USA : Elsevier, Inc ; 2009
7. Dufresne, Steven, **How to Design Solar Reflectors for Solar Cookers**. **Rimstar.org**.  
[http://rimstar.org/renewnrg/how\\_design\\_solar\\_cooker\\_sun\\_reflector.htm](http://rimstar.org/renewnrg/how_design_solar_cooker_sun_reflector.htm)
8. Srickney, Bristol , **Optimizing Thermal Collector Tilt Angles** <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/optimizing-thermal-collector-tilt-angles>
9. Electro Optical Industries, **Emissivity of Materials** [http://www.electrooptical.com/eoi\\_page.asp?h=Emissivity+of+Materials](http://www.electrooptical.com/eoi_page.asp?h=Emissivity+of+Materials)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LAMPIRAN A

**Tabel A1 Thermophysical Properties of Saturated Water**

Temperature, $T$ (K)	Pressure, $p$ (bars)	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)	Heat of Vapor- ization, $h_{fg}$ (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)	Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )	Thermal Conductivity (W/m · K)	Prandtl Number	Surface Tension, $\sigma_f$ · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Expansion Coeffi- cient, $\beta_f$ · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temper- ature, $T$ (K)
$T$	$p$	$v_f$	$h_{fg}$	$c_{p,f}$	$\mu_f$ · 10 <sup>6</sup>	$k_f$ · 10 <sup>3</sup>	$Pr_f$	$\sigma_f$	$\beta_f$	$T$
273.15	0.00611	1.000	2502	4.217	1750	569	12.99	0.815	75.5	273.15
275	0.00697	1.000	2497	4.211	1.855	1652	12.22	0.817	73.3	275
280	0.00990	1.000	2485	4.198	1.858	1422	18.6	0.825	74.8	280
285	0.01387	1.000	2473	4.189	1.861	1225	18.9	0.833	74.3	285
290	0.01917	1.001	2461	4.184	1.864	1080	19.3	0.841	73.7	290
295	0.02617	1.002	2449	4.181	1.868	959	19.5	0.849	72.7	295
300	0.03531	1.003	2438	4.179	1.872	855	19.6	0.857	71.7	300
305	0.04712	1.005	2426	4.178	1.877	769	20.1	0.865	70.9	305
310	0.06221	1.007	2414	4.178	1.882	695	20.4	0.873	70.0	310
315	0.08132	1.009	2402	4.179	1.888	631	20.7	0.883	69.2	315
320	0.1053	1.011	2390	4.180	1.895	577	21.0	0.894	68.3	320
325	0.1351	1.013	2378	4.182	1.903	528	21.3	0.901	67.5	325
330	0.1719	1.016	2366	4.184	1.911	489	21.7	0.908	66.6	330
335	0.2167	1.018	2354	4.186	1.920	453	22.0	0.916	65.8	335
340	0.2713	1.021	2342	4.188	1.930	420	22.3	0.925	64.9	340
345	0.3372	1.024	2329	4.191	1.941	389	22.6	0.933	64.1	345
350	0.4163	1.027	2317	4.195	1.954	365	22.9	0.942	63.2	350
355	0.5100	1.030	2304	4.199	1.968	343	23.3	0.951	62.3	355
360	0.6209	1.034	2291	4.203	1.983	324	23.7	0.960	61.4	360
365	0.7514	1.038	2278	4.209	1.999	306	24.1	0.969	60.5	365
370	0.9040	1.041	2265	4.214	2.017	289	24.5	0.978	59.5	370
373.15	1.0133	1.044	2257	4.217	2.029	279	24.8	0.984	58.9	373.15
375	1.0815	1.045	2252	4.220	2.036	274	24.9	0.987	58.6	375
380	1.2869	1.049	2239	4.226	2.057	260	25.4	0.999	57.6	380
385	1.5233	1.053	2225	4.232	2.080	248	25.8	1.004	56.6	385
390	1.794	1.058	2212	4.239	2.104	237	26.3	1.013	55.6	390
400	2.455	1.067	2183	4.256	2.158	217	27.2	1.033	53.6	400
410	3.302	1.077	2153	4.278	2.221	200	28.2	1.054	51.5	410
420	4.370	1.088	2123	4.302	2.291	185	29.8	1.075	49.4	420
430	5.699	1.099	2091	4.331	2.369	173	30.4	1.10	47.2	430



### **Data Variabel Konstan Kolektor Surya**

- $\tau_{\text{cov}}$  = 0,79
- $\alpha_{\text{abs}}$  = 0,97
- $\sigma$  =  $5,67 \times 10^{-8}$
- $g$  =  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $T$  (tinggi) = 0,05 m
- $P_p$  (panjang) = 1,5 m
- $L_p$  (lebar) = 7,5 m
- $k_b$  (kond. las) =  $429 \text{ W/m.K}$
- $b$  (lebar las) = 0,32 m
- $\gamma$  (tebal las) = 0,001 m
- $k_p$  (kond. pipa) =  $116 \text{ W/m.K}$
- $\delta$  (tebal seng) = 0,002 m
- $W$  (jarak 2 pipa) = 0,29 m
- $D_i$  (dia. dalam pipa) = 0,0114 m
- $D_o$  (dia. luar pipa) = 0,0127 m
- $k$  (kond. fluida) =  $0,14 \text{ W/m}^2$

**Tabel A2 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Selasa , 26 Mei 2015**

	Hari	Selasa, 26 Mei 2015													
	Variasi	$\beta$	0												
		$\theta_r$	50												
No	Waktu	Data													
		$T_{p1}$ (°C)	$T_{p2}$ (°C)	$T_{p3}$ (°C)	$T_{c1}$ (°C)	$T_{c2}$ (°C)	$T_{c3}$ (°C)	$T_{f,in}$ (°C)	$T_{f,out}$ (°C)	$T_a$ (°C)	$V_a$ (m/s)	$I_{t1}$ (mV)	$I_{t2}$ (mV)	$I_{t3}$ (mV)	Ket
1	07.00	32,5	36	36,5	27,7	29,7	30,3	23,7	24,8	27,5	0,1	1,2	1,3	1,3	mendung
2	08.00	76	78,9	81	44	45,3	48	24	34,3	31,5	2,3	5	5,2	5,6	cerah
3	09.00	91,7	92,3	97,1	57,6	60,4	63	28,5	42,3	32	0,5	5	5,2	5,5	cerah
4	10.00	89,4	104	105,1	52,8	59	64	30,1	51,5	31,5	0,1	6,9	9,1	10,1	cerah
5	11.00	88,8	93,2	97,7	50,1	54,2	58,2	31,4	46,2	32,5	1,5	6,9	8	8	cerah
6	12.00	100,3	101,1	106,5	56,3	63	70	33,9	41,1	32,5	0,1	6,4	8,9	9,4	cerah
7	13.00	94	109,1	108,2	45,8	52,5	57,2	34,1	44,3	32	0,5	4,8	4,7	4,6	cerah
8	14.00	76,9	88,9	89,3	46	50	53,4	34,1	45,1	31,5	1,2	4,8	4,7	4,6	cerah
9	15.00	59,6	43	47,6	40,9	36,5	39	34,3	41,1	32,5	0,5	3,4	3,3	3,3	cerah
10	16.00	36,6	35,8	36,8	31,7	30,8	31,2	34,4	37,5	30,5	0,4	1,4	0,3	0,4	cerah
11	17.00	31,9	31,7	31,7	23,8	23,7	27,9	35,8	36,2	28	0,6	0,1	0,1	0,1	cerah

$T_{drata-rata}$ (°C)	$T_{Crata-rata}$ (°C)	$T_{Trata-rata}$ (mV)	$T_{f-rata-rata}$ (W/m <sup>2</sup> )
35,00	29,23	1,27	165,58
78,63	45,77	5,27	688,45
93,70	60,33	5,23	684,10
99,50	58,60	8,70	1137,25
93,23	54,17	7,63	997,82
102,63	63,10	8,23	1076,25
103,77	51,83	4,70	614,38
85,03	49,80	4,70	614,38
50,07	38,80	3,33	435,73
36,40	31,23	0,70	91,50
31,77	25,13	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	Tlimp-c (°C)	Tlimp-c (°K)	v (10^-6)(m2/s)	α (10^-6)(m2/s)	β' (1/K°)	Ra	Nu	ka(10^-3)(W/m.K)	hcv,p-c (W/m2.K)	hr,p-c (W/m2.K)	R1 (W/m2.K)
1	128,151	32,12	305,12	16,40	23,26	0,00328	60744,925	3,555533166	26,68	1,897	5,828	0,1294470
2	532,837	62,20	335,20	19,43	27,71	0,00298	223307,13	4,792228006	28,90	2,770	7,745	0,0950959
3	529,465	77,02	350,02	20,92	29,90	0,00286	186849,35	4,594138436	30,00	2,757	8,817	0,0864010
4	880,193	79,05	352,05	21,15	30,24	0,00284	222763,21	4,78944336	30,16	2,889	8,982	0,0842435
5	772,277	73,70	346,70	20,59	29,41	0,00288	228190,89	4,817024415	29,76	2,867	8,577	0,0873862
6	832,980	82,87	355,87	21,56	30,89	0,00281	204534,49	4,693277546	30,45	2,858	9,274	0,0824252
7	475,507	77,80	350,80	21,01	30,03	0,00285	287716,83	5,0935398	30,06	3,062	8,905	0,0835604
8	475,507	67,42	340,42	19,96	28,48	0,00294	223298,01	4,79218139	29,29	2,807	8,115	0,0915569
9	337,239	44,43	317,43	17,64	25,08	0,00315	98355,836	3,962371174	27,59	2,186	6,564	0,1142777
10	70,820	33,82	306,82	16,58	23,51	0,00326	52991,408	3,448306037	26,80	1,849	5,926	0,1286259
11	10,117	28,45	301,45	16,04	22,71	0,00332	74079,481	3,717253267	26,41	1,963	5,621	0,1318588

No	Mencari R <sub>z</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/°K)	ν (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>z</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	28,37	301,37	0,003318217	16,03	22,70	1	6239,281	219646877,3	155067661,2	80,587	26,40	2,128	287,54	5,586759621	0,1296286
2	38,63	311,63	0,003208899	17,06	24,22		134815,8	1543027301	1086814427,0	154,221	27,16	4,189	293,31	6,251479257	0,0957831
3	46,17	319,17	0,003133159	17,82	25,34		28061,25	2742983004	1929019668,3	186,725	27,72	5,176	294,03	6,746509018	0,0838769
4	45,05	318,05	0,003144416	17,71	25,17		5647,857	2666308015	1875509365,4	184,983	27,64	5,112	293,31	6,666454809	0,0848999
5	43,33	316,33	0,003161222	17,53	24,92		85552,31	2185732856	1537995462,1	173,145	27,51	4,763	294,75	6,564506332	0,0882808
6	47,80	320,80	0,003117207	17,98	25,58		5560,968	2893722641	2034384852,9	190,065	27,84	5,291	294,75	6,862261873	0,0822807
7	41,92	314,92	0,003175443	17,39	24,71		28751,14	2042862367	1437879052,1	169,303	27,40	4,640	294,03	6,466649925	0,0900397
8	40,65	313,65	0,003188267	17,26	24,52		69512,07	1920581337	1352165175,3	165,870	27,31	4,530	293,31	6,379453355	0,0916642
9	35,65	308,65	0,003239916	16,76	23,78		29832,6	712829066,4	502390979,5	119,245	26,94	3,212	294,75	6,078131989	0,1076356
10	30,87	303,87	0,003290917	16,28	23,07		24571,55	89337261,72	63033256,0	59,696	26,59	1,587	291,86	5,767104969	0,1359767
11	26,57	299,57	0,003338155	15,85	22,44		37851,47	373607546,4	263880403,3	96,211	26,27	2,527	288,26	5,48935028	0,1247466

Mencari R <sub>3</sub>			No	Mencari Tahanan Termal			No	Mencari h <sub>u</sub>								
L <sub>ins</sub>	K <sub>ins</sub>	R <sub>3</sub>		U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>		T <sub>limair-pipa</sub> (°K)	β'	ΔT <sub>air-pipa</sub> (°K)	L <sub>c</sub> (m)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m <sup>2</sup> K)
0,05	0,033	1,515152	1	0,66	3,859878	4,519878041	1	302,63	0,00330442	10,75	0,0114	16,15	22,89	1396,329	1	11,02362205
			2		5,238921	5,898920918	2	326,89	0,003059117	49,48		18,60	26,48	4468,05	1	11,02362205
			3		5,87275	6,532750067	3	337,55	0,002962524	58,30		19,67	28,06	4549,009	1	11,02362205
			4		5,912145	6,572144714	4	343,15	0,002914177	58,70		20,23	28,89	4254,341	1	11,02362205
			5		5,692589	6,352588834	5	339,02	0,002949707	54,43		19,82	28,27	4165,213	1	11,02362205
			6		6,071428	6,731428297	6	343,07	0,002914885	65,13		20,22	28,87	4725,725	1	11,02362205
			7		5,760364	6,420364334	7	344,48	0,002902898	64,57		20,37	29,08	4599,299	1	11,02362205
			8		5,457887	6,117886588	8	335,32	0,002982256	45,43		19,44	27,73	3652,937	1	11,02362205
			9		4,506265	5,166265429	9	316,88	0,003155736	12,37		17,59	25,00	1290,004	1	11,02362205
			10		3,779252	4,439252204	10	309,18	0,003234414	0,45		16,81	23,86	52,73685	1	11,02362205
			11		3,897064	4,557064403	11	306,88	0,003258567	4,23		16,58	23,52	514,0789	1	11,02362205

No	Mencari Qu dan $\eta$															
	Tilmwater (°C)	Tilmwater (°K)	Cp (kJ/kg.K)	Cb (W/m.K)	m	hf,i (W/m2.K)	F	F'	m (kg/s)	Fr	Qu (W)	Qloss (W)	$\eta$	Qu Total (W)	Ir Total (W)	$\eta$ Total
1	24,25	297,25	4180,1	137280	4,413868	11,02362205	0,8914	0,225345558	0,007874612	0,221468	36,20833	150,0662	19,44%	74,110	427,015	12,86%
2	29,15	302,15	4182,14		5,042458	11,02362205	0,863664	0,182310541	0,002600338	0,172535	112,0123	662,4975	14,46%			
3	35,4	308,4	4179,64		5,306449	11,02362205	0,851612	0,167605127	0,001653864	0,153521	95,39329	674,2146	12,40%			
4	40,8	313,8	4177,48		5,322425	11,02362205	0,850876	0,166769162	0,001714715	0,153205	153,2922	1126,12	11,98%			
5	38,8	311,8	4178,28		5,232767	11,02362205	0,854995	0,171537681	0,002282011	0,160968	141,1162	981,4328	12,57%			
6	37,5	310,5	4178,8		5,386537	11,02362205	0,847918	0,163472593	0,004884301	0,158614	146,9557	1063,829	12,14%			
7	39,2	312,2	4180,12		5,260607	11,02362205	0,853718	0,170036782	0,001922219	0,157679	81,95807	609,2184	11,86%			
8	39,6	312,6	4179,96		5,135192	11,02362205	0,859453	0,176946743	0,001840284	0,16365	84,61546	606,561	12,24%			
9	37,7	310,7	4180,72		4,718939	11,02362205	0,878132	0,20289338	0,002489326	0,191821	70,76878	419,4273	14,44%			
10	35,95	308,95	4181,42		4,374324	11,02362205	0,893089	0,228500009	0,000917911	0,197662	11,89833	91,04284	11,56%			
11	36	309	4181,4		4,431988	11,02362205	0,890623	0,223919856	0,003965474	-0,23185	6,632493	8,07339	45,10%			

**Tabel A3** Hasil Perhitungan Pengambilan Data Rabu , 27 Mei 2015

	Hari	Rabu, 27 Mei 2015														
Variasi		$\beta$	0													
		$\delta r$	60													
No	Waktu	Data														Ket
		T <sub>Pn</sub> (°C)	T <sub>Pz</sub> (°C)	T <sub>Pd</sub> (°C)	T <sub>Cc</sub> (°C)	T <sub>Cz</sub> (°C)	T <sub>Cd</sub> (°C)	T <sub>f,in</sub> (°C)	T <sub>f,out</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	I <sub>Lr</sub> (mV)	I <sub>Vr</sub> (mV)	I <sub>Sr</sub> (mV)		
1	07.00	19,9	24,9	23,6	28,3	26,8	28,1	23,8	27,2	26	0,1	1,8	0,8	0,6	mending	
2	08.00	67,2	50,1	51,2	40	35,6	38,1	31,3	37,5	29	0,6	3,4	3,5	3,6	cerah	
3	09.00	84	85,8	86,5	48,5	50,9	55	33,1	42,4	30	0,1	4,8	5,1	5,2	cerah	
4	10.00	90,3	95,3	96,8	51,9	53,9	58,5	34,1	44,3	31,5	0,1	6,5	7,2	7,5	cerah	
5	11.00	97,2	123,2	127,9	60	74,7	81,4	34,3	45,6	32	0,4	6,5	11,9	11,9	cerah	
6	12.00	97,4	127,6	123,3	59,2	73,6	80,3	35,8	49,9	32	0,1	6,3	7,8	7,8	cerah	
7	13.00	91,2	98,4	99,3	55,8	59,6	62,5	35,9	50	31,5	0,8	5,7	5,9	6,1	cerah	
8	14.00	77,6	82,7	82,3	50,9	53	56,3	36,4	48,3	33	0,1	4,8	4,5	4,4	cerah	
9	15.00	60,3	44,5	44,5	40,1	33,8	35,3	37	44,6	32,5	0,1	3,1	0,6	0,7	cerah	
10	16.00	42,9	42,7	42,6	32,9	31,5	32,2	38,6	40,6	31,5	0,1	1,5	0,5	0,6	cerah	
11	17.00	33,5	33,5	34	27,8	27,8	28,2	39	39,4	28	0,1	0,1	0,1	0,1	cerah	

T <sub>grate</sub> -rata (°C)	T <sub>core</sub> -rata (°C)	I <sub>grate</sub> -rata (mV)	I <sub>grate</sub> -rata (W/m <sup>2</sup> )
22,80	27,73	1,07	139,43
56,17	37,90	3,50	457,52
85,43	51,47	5,03	657,95
94,13	54,77	7,07	923,75
116,10	72,03	10,10	1320,26
116,10	71,03	7,30	954,25
94,37	59,30	5,90	771,24
80,87	53,40	4,57	596,95
50,07	36,40	1,47	191,72
42,73	32,20	0,87	113,29
33,67	27,93	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	T <sub>imp-c</sub> (°C)	T <sub>imp-c</sub> (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	β <sup>1</sup> (1/K <sup>1</sup> )	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.k)	h <sub>cv,p-c</sub> (W/m2.K)	h <sub>r,p-c</sub> (W/m2.K)	R <sub>1</sub> (W/m2.K)
1	107,916	25,27	298,27	15,72	22,24	0,00335	58020,382	3,519156256	26,17	1,842	5,444	0,1372459
2	354,101	47,03	320,03	17,91	25,46	0,00312	153503,28	4,387823681	27,78	2,438	6,730	0,1097251
3	509,231	68,45	341,45	20,06	28,63	0,00293	212366,3	4,735290418	29,37	2,871	8,187	0,0911698
4	714,946	74,45	347,45	20,66	29,52	0,00288	227749,53	4,814798589	29,81	2,871	8,633	0,0869296
5	1021,834	94,07	367,07	22,79	32,77	0,00272	197099,68	4,652352724	31,30	2,912	10,183	0,0763635
6	738,553	93,57	366,57	22,74	32,68	0,00273	202854,75	4,684122517	31,26	2,928	10,143	0,0765005
7	596,913	76,83	349,83	20,90	29,88	0,00286	196827,64	4,650835179	29,99	2,789	8,806	0,0862444
8	462,017	67,13	340,13	19,93	28,44	0,00294	174726,72	4,522354391	29,27	2,647	8,086	0,0931662
9	148,385	43,23	316,23	17,52	24,90	0,00316	121445,15	4,157190398	27,50	2,287	6,491	0,1139269
10	87,682	37,47	310,47	16,94	24,05	0,00322	102103,99	3,996100446	27,07	2,164	6,141	0,1204082
11	10,117	30,80	303,80	16,27	23,06	0,00329	61665,965	3,567541498	26,58	1,897	5,753	0,1307275



**Tabel A4 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Kamis , 28 Mei 2015**

No	Waktu	Data													
		Tp <sub>1</sub> (°C)	Tp <sub>2</sub> (°C)	Tp <sub>3</sub> (°C)	Tc <sub>1</sub> (°C)	Tc <sub>2</sub> (°C)	Tc <sub>3</sub> (°C)	Tf <sub>1</sub> (°C)	Tf <sub>2</sub> (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	I <sub>t1</sub> (mV)	I <sub>t2</sub> (mV)	I <sub>t3</sub> (mV)	Ket
		48,7	44	40,2	32,6	32	32,9	28,5	29,3	34	0,1	2,7	1,6	1,5	mendung
1	07.00	66	65,7	59,4	40	40	41,2	31,3	41,3	31,5	0,1	3,9	3,9	3,8	cerah
2	08.00	72,3	85,3	83,8	49,8	55,3	60,1	31,6	43	31,5	0,2	4,4	5,3	5,2	cerah
3	09.00	94	102,8	87,6	54	59,8	66,3	33,7	45,2	31,5	0,6	5,6	8	8,4	cerah
4	10.00	96,5	125,7	125,4	56,8	74	85	34,1	52,7	32	0,4	6,4	9,4	9,4	cerah
5	11.00	95,7	115,3	105,8	60,3	71,7	76,1	34,3	53,8	32	0,4	6,4	9,4	9,4	cerah
6	12.00	98,7	99,3	101,6	56,6	61,3	64,9	34,6	44,3	32	0,6	5,7	7	7,4	cerah
7	13.00	85,1	73	79,5	47	45,4	48	35,7	44,8	32	0,5	4,6	4,9	5	cerah
8	14.00	63	44,7	45,8	40,9	33,2	33,9	36,4	44,4	32,5	0,1	3,4	0,4	0,5	cerah
9	15.00	38,3	38,6	40,6	30,8	29,6	29,6	37,5	40,1	31	0,1	1,4	0,3	0,4	cerah
10	16.00	32,3	32,4	32,5	27	26,9	27	38,5	39,1	28,5	0,3	0,1	0,1	0,1	cerah
11	17.00														

Tp rata-rata (°C)	Tc rata-rata (°C)	It rata-rata (mV)	It rata-rata (W/m <sup>2</sup> )
44,30	32,50	1,93	252,72
63,70	40,40	3,87	505,45
80,47	55,07	4,97	649,24
94,80	60,03	7,33	958,61
115,87	71,93	8,40	1098,04
105,60	69,37	8,40	1098,04
99,87	60,93	6,70	875,82
79,20	46,80	4,83	631,81
51,17	36,00	1,43	187,36
39,17	30,00	0,70	91,50
32,40	26,97	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>limp-c</sub> (°C)	T <sub>limp-c</sub> (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	β' (1/K°)	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	h <sub>cv,p-c</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	h <sub>r,p-c</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R1 (W/m <sup>2</sup> .K)
1	195,598	38,40	311,40	17,04	24,19	0,00321	112763,3	4,087354382	27,14	2,219	6,197	0,1188194
2	391,197	52,05	325,05	18,41	26,21	0,00308	182182,37	4,566897496	28,15	2,572	7,055	0,1038805
3	502,486	67,77	340,77	19,99	28,53	0,00293	160237,37	4,431846952	29,32	2,599	8,129	0,0932143
4	741,925	77,42	350,42	20,97	29,97	0,00285	193624,44	4,632856191	30,03	2,783	8,849	0,0859704
5	849,842	93,90	366,90	22,78	32,74	0,00273	196918,81	4,65134389	31,28	2,910	10,169	0,0764561
6	849,842	87,48	360,48	22,07	31,66	0,00277	176380,82	4,532349215	30,80	2,792	9,635	0,0804745
7	677,850	80,40	353,40	21,29	30,47	0,00283	208209,78	4,713129057	30,26	2,852	9,082	0,0837897
8	488,996	63,00	336,00	19,51	27,83	0,00298	217775,93	4,76368928	28,96	2,760	7,800	0,0946986
9	145,013	43,58	316,58	17,56	24,95	0,00316	134076,63	4,252689347	27,53	2,341	6,513	0,1129362
10	70,820	34,58	307,58	16,65	23,62	0,00325	92899,939	3,911554839	26,86	2,101	5,971	0,1238743
11	10,117	29,68	302,68	16,16	22,90	0,00330	59488,897	3,53892577	26,50	1,876	5,690	0,1321844

No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/K')	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	33,25	306,25	0,003265306	16,52	23,43	1			124173061,6	74,834	26,76	2,003	296,92	5,951426263	0,1257201
2	35,95	308,95	0,00323677	16,79	23,82				706455694,3	133,594	26,96	3,602	293,31	6,084627319	0,1032352
3	43,28	316,28	0,003161722	17,53	24,91				1674107604,5	178,109	27,50	4,899	293,31	6,549927123	0,0873453
4	45,77	318,77	0,003137091	17,78	25,28				1954042294,0	187,529	27,69	5,192	293,31	6,714223796	0,0839865
5	51,97	324,97	0,003077239	18,40	26,20				2500861032,0	203,605	28,15	5,731	294,03	7,144897998	0,0776647
6	50,68	323,68	0,003089439	18,27	26,01				2383279306,2	200,362	28,05	5,621	294,03	7,055089598	0,0788907
7	46,47	319,47	0,003130217	17,85	25,38				1961255005,8	187,760	27,74	5,209	294,03	6,766646234	0,0835059
8	39,40	312,40	0,003201024	17,14	24,34				1114394167,5	155,514	27,22	4,233	294,03	6,305644558	0,0948913
9	34,25	307,25	0,003254679	16,62	23,57				285243837,1	98,741	26,84	2,650	294,75	5,992949271	0,1157032
10	30,50	303,50	0,003294893	16,24	23,02				86457076,5	66,327	26,56	1,762	292,58	5,751545276	0,1331003
11	27,73	300,73	0,003325205	15,96	22,61				138584951,4	77,624	26,35	2,046	288,98	5,561687741	0,1314507

Mencari R <sub>3</sub>		
Lins	Kins	R <sub>3</sub>
0,05	0,033	1,515152

No	Mencari Tahanan Termal		
	U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>c</sub>
1	0,66	4,08932	4,749319677
2		4,828221	5,488220774
3		5,538337	6,198336915
4		5,883846	6,543845967
5		6,488417	7,148417078
6		6,274897	6,93489749
7		5,977445	6,637444765
8		5,274544	5,93454377
9		4,373701	5,033700576
10		3,891435	4,551434804
11		3,793121	4,453121099

No	Mencari h <sub>f,i</sub>									
	T <sub>limair-pipa</sub> (°K)	β'	ΔT <sub>air-pipa</sub> (°K)	Lc (m)	v (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	
1	309,60	0,003229974	15,40	0,0114	16,86	23,92	1792,996	1	11,02362205	
2	323,00	0,003095975	27,40		18,20	25,90	2614,585	1	11,02362205	
3	331,88	0,003011107	43,17		19,10	27,22	3636,663	1	11,02362205	
4	340,13	0,002940096	55,35		19,93	28,44	4173,72	1	11,02362205	
5	352,63	0,002835807	72,47		21,18	30,29	4654,535	1	11,02362205	
6	347,83	0,002875009	61,55		20,70	29,58	4200,347	1	11,02362205	
7	342,66	0,002918359	60,42		20,18	28,81	4406,889	1	11,02362205	
8	332,73	0,003005485	38,95		19,18	27,34	3243,827	1	11,02362205	
9	318,78	0,003136927	10,77		17,78	25,28	1092,122	1	11,02362205	
10	311,98	0,003026299	0,37		17,10	24,27	41,16311	1	11,02362205	
11	308,60	0,003240441	6,40		16,76	23,77	756,7261	1	11,02362205	

No	Mencari Q <sub>u</sub> dan η															
	T <sub>limwater</sub> (°C)	T <sub>limwater</sub> (°K)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>b</sub> (W/m.K)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	rh (kg/s)	Fr	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	Q <sub>u</sub> Total (W)	Ir Total (W)	η Total
1	28,9	301,9	4178,24	137280	4,524512	11,02362205	0,886634	0,216827854	0,016041341	0,214965	53,61966	230,6941	18,86%			
2	36,3	309,3	4179,28		4,863756	11,02362205	0,871701	0,193302402	0,001894898	0,179441	79,19311	489,4343	13,93%	66,406	379,085	
3	37,3	310,3	4178,88		5,168846	11,02362205	0,857919	0,175054574	0,001924924	0,162419	91,7019	638,6903	12,56%	85,448	577,342	
4	39,45	312,45	4178,02		5,310954	11,02362205	0,851404	0,167368821	0,002700939	0,158555	129,7726	948,6587	12,03%	110,737	803,922	
5	43,4	316,4	4176,44		5,550869	11,02362205	0,840293	0,155430191	0,001725204	0,142695	134,0169	1101,277	10,85%	131,895	1028,322	
6	44,05	317,05	4176,18		5,467339	11,02362205	0,844176	0,159446734	0,001683483	0,146137	137,0953	1098,199	11,10%	135,556	1098,039	11,78%
7	39,45	312,45	4180,02		5,348801	11,02362205	0,84966	0,165401724	0,00288137	0,157204	116,8286	868,4655	11,86%	126,962	986,928	
8	40,25	313,25	4179,7		5,057661	11,02362205	0,862976	0,181415849	0,002358217	0,170712	89,69541	621,0889	12,62%	103,262	753,813	
9	40,4	313,4	4179,64		4,658002	11,02362205	0,880813	0,207125246	0,000724402	0,171721	24,22192	186,5624	11,49%	56,959	409,586	
10	38,8	311,8	4180,28		4,42925	11,02362205	0,890741	0,22413453	0,000811666	0,190164	8,821775	94,1194	8,57%	16,522	139,434	
11	38,8	311,8	4180,28		4,381151	11,02362205	0,892798	0,227951113	0,003653517	-0,23669	9,163636	5,542247	62,31%	8,993	52,288	

**Tabel A5** Hasil Perhitungan Pengambilan Data Jumat , 29 Mei 2015

		Hari		Jumat, 29 Mei 2015															
Variasi		$\beta$		7															
		0r		50															
No	Waktu	Data																	
		$T_{p1}$ (°C)	$T_{p2}$ (°C)	$T_{p3}$ (°C)	$T_{c1}$ (°C)	$T_{c2}$ (°C)	$T_{c3}$ (°C)	$T_{f,in}$ (°C)	$T_{f,out}$ (°C)	$T_a$ (°C)	$V_a$ (m/s)	$I_{f1}$ (mV)	$I_{f2}$ (mV)	$I_{f3}$ (mV)	Ket				
1	07.00	31,6	29,2	33,4	30	27,7	28	20,7	27,6	29	0,1	2,3	0,6	0,6	memudu				
2	08.00	63,5	62,2	68,3	41,7	43,2	46,7	20,7	35,4	30	0,1	3,6	3,6	3,5	cerah				
3	09.00	76,5	79,3	79	46,8	51,2	54	23,5	37	31	0,3	5	5,2	5,3	cerah				
4	10.00	92,2	102,6	102	56,7	65,1	68,6	26,4	34,6	32	0,4	8	8,4	9,2	cerah				
5	11.00	81,1	94,5	88,9	58,7	62,3	68,2	26,9	34,6	32	0,2	7,2	7,6	7,6	cerah				
6	12.00	87,3	97,2	83,8	50,3	57,3	60,3	27,2	39,9	32	0,1	7,4	7,9	8,3	cerah				
7	13.00	89,5	105	87,2	52,8	58,4	64,3	27,2	39,9	31,5	0,1	5,7	5,8	6	cerah				
8	14.00	77,5	84,6	71,1	49,6	51,6	54,6	32,4	41,3	31	0,2	4,9	4,9	5	cerah				
9	15.00	60,3	72,4	66,6	42,5	42,5	46,8	36,9	42,4	31	0,2	3,2	3,2	3,2	cerah				
10	16.00	36,3	35,9	39,4	31,3	30,1	31	37,5	38,9	30	0,2	1,7	0,3	0,4	cerah				
11	17.00	33,1	33,4	34,1	27,5	27,6	27,1	39,8	41,5	29	0,1	0,1	0,1	0,1	cerah				

T <sub>grate-rate</sub> (°C)	T <sub>grate-rate</sub> (°C)	V <sub>grate-rate</sub> (mV)	T <sub>grate-rate</sub> (W/m <sup>2</sup> )
31.40	28.57	1.17	152.51
64.67	43.87	3.57	466.23
78.27	50.67	5.17	675.38
98.93	63.47	8.53	1115.47
88.17	63.07	7.47	976.03
89.43	55.97	7.87	1028.32
93.90	58.50	5.83	762.53
77.73	51.93	4.93	644.88
66.43	43.93	3.20	418.30
37.20	30.80	0.80	104.58
33.53	27.40	0.10	13.07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	Tfimp,c (°C)	Tfimp,c (°K)	v (10 <sup>Λ</sup> -6)/m2/s)	α (10 <sup>Λ</sup> -6)/m2/s)	β' (1/K)	Ra	Nu	ka(10 <sup>Λ</sup> -3)/(W/m.K)	hcv,ρ< (W/m2.K)	hr,ρ< (W/m2.K)	R1 (W/m2.K)
1	118,034	29,98	302,98	16,19	22,94	0,00330	30873,464	3,036070092	26,52	1,610	5,706	0,1366748
2	360,845	54,27	327,27	18,63	26,54	0,00306	157626,94	4,405912408	28,32	2,495	7,198	0,1031609
3	522,720	64,47	337,47	19,66	28,05	0,00296	181901,42	4,556057118	29,07	2,649	7,898	0,0948147
4	863,331	81,20	354,20	21,38	30,61	0,00282	187637,08	4,589464046	30,32	2,783	9,139	0,0838758
5	755,415	75,62	348,62	20,78	29,70	0,00287	143071,9	4,307923343	29,90	2,576	8,087	0,0886571
6	795,884	72,70	345,70	20,49	29,26	0,00289	198005,42	4,648094198	29,68	2,759	8,496	0,0888494
7	590,168	76,20	349,20	20,84	29,78	0,00286	200296,02	4,660758012	29,94	2,791	8,758	0,0865854
8	499,113	64,83	337,83	19,70	28,10	0,00296	169208,21	4,479425309	29,10	2,607	7,922	0,0949773
9	323,749	55,18	328,18	18,73	26,67	0,00305	168335,64	4,474011694	28,39	2,540	7,260	0,1020399
10	80,937	34,00	307,00	16,59	23,51	0,00326	65453,314	3,606229416	26,82	1,934	5,937	0,1270490
11	10,117	30,47	303,47	16,24	23,04	0,00330	66318,942	3,616911128	26,56	1,921	5,734	0,1306315



No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/K°)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	T <sub>sky</sub> (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	28,78	301,78	0,003313636	16,07	22,76	1			38507808,0	50,653	26,43	1,339	289,70	5,627957748	0,1435374
2	36,93	309,93	0,0032265	16,89	23,97				1084153728,6	154,095	27,04	4,166	291,14	6,128127318	0,0971431
3	40,83	313,83	0,003186405	17,28	24,55				1449144150,8	169,744	27,32	4,638	292,58	6,385551586	0,0907146
4	47,73	320,73	0,003117855	17,98	25,57				2094026865,8	191,905	27,83	5,342	294,03	6,852230074	0,0820092
5	47,53	320,53	0,0031198	17,96	25,54				2073416253,7	191,273	27,82	5,321	294,03	6,83865643	0,0822384
6	43,98	316,98	0,00315474	17,60	25,01				1684957470,8	178,493	27,56	4,919	294,03	6,60147934	0,0868043
7	45,00	318,00	0,003144654	17,70	25,16				1869963286,5	184,800	27,63	5,106	293,31	6,663132851	0,0849652
8	41,47	314,47	0,003179987	17,35	24,64				1527883677,6	172,765	27,37	4,729	292,58	6,426291543	0,0896463
9	37,47	310,47	0,003220958	16,94	24,05				1002945489,0	150,147	27,07	4,065	292,58	6,172675436	0,0976769
10	30,40	303,40	0,003295979	16,23	23,00				69275881,1	61,605	26,55	1,636	291,14	5,733793761	0,1356941
11	28,20	301,20	0,003320053	16,01	22,68				143524508,8	78,536	26,39	2,072	289,70	5,594294922	0,1304333

Mencari R <sub>3</sub>			No	Mencari Tahanan Termal			No	Mencari h <sub>u</sub>									
L <sub>ins</sub>	K <sub>ins</sub>	R <sub>3</sub>		U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>		T <sub>limair-pipa</sub> (°K)	β'	ΔT <sub>air-pipa</sub> (°K)	L <sub>c</sub> (m)	v (10 <sup>-6</sup> -G)(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> -G)(m <sup>2</sup> /s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	
0,05	0,033	1,515152	1	0,66	3,568723	4,228723106	1	300,78	0,003324744	7,25	0,0114	15,97	22,61	970,1512	1	11,02362205	
			2		4,992413	5,65241291	2	319,36	0,003131279	36,62		17,84	25,37	3683,121	1	11,02362205	
			3		5,389984	6,049983896	3	327,26	0,00305569	48,02		18,63	26,53	4313,347	1	11,02362205	
			4		6,028274	6,688274234	4	337,72	0,002961062	68,43		19,68	28,08	5327,823	1	11,02362205	
			5		5,851527	6,511527027	5	332,46	0,003007896	57,42		19,16	27,30	4799,23	1	11,02362205	
			6		5,693019	6,353018655	6	334,39	0,002990505	56,08		19,35	27,59	4565,982	1	11,02362205	
			7		5,829187	6,489186506	7	336,73	0,002969782	60,35		19,58	27,94	4761,227	1	11,02362205	
			8		5,416426	6,07426164	8	330,29	0,003027627	40,88		18,94	26,98	3520,629	1	11,02362205	
			9		5,007092	5,667092037	9	326,04	0,003067093	26,78		18,51	26,35	2447,509	1	11,02362205	
			10		3,805998	4,465998054	10	310,70	0,003218539	1,00		16,97	24,08	114,4803	1	11,02362205	
			11		3,830467	4,490467368	11	310,09	0,003324853	7,12		16,91	23,99	822,3457	1	11,02362205	

No	Mencari Qu dan η													
	T <sub>limwater</sub> (°C)	T <sub>limwater</sub> (°K)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>b</sub> (W/m.K)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	ṁ (kg/s)	Fr	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	η Total
1	24,15	297,15	4180,14	137280	4,269339	11,02362205	0,897538	0,23716959	0,001276858	0,213779	36,82839	134,7402	21,47%	13,10%
2	28,05	301,05	4182,58		4,935975	11,02362205	0,868466	0,188752507	0,001278955	0,169075	78,6352	445,8746	14,99%	
3	30,25	303,25	4181,7		5,106615	11,02362205	0,860754	0,178575969	0,001872583	0,165407	105,7128	654,0911	13,91%	
4	30,5	303,5	4181,6		5,369243	11,02362205	0,848717	0,164352758	0,004707882	0,159297	161,4291	1093,473	12,86%	
5	30,75	303,75	4181,5		5,297823	11,02362205	0,852008	0,168058974	0,004482034	0,162658	144,3105	953,7287	13,14%	
6	33,35	306,35	4180,46		5,232944	11,02362205	0,854987	0,171528079	0,0029522	0,163284	151,8011	1005,062	13,12%	
7	33,55	306,55	4182,38		5,288727	11,02362205	0,852427	0,168539385	0,002055704	0,157035	109,1913	748,6519	12,73%	
8	36,85	309,85	4181,06		5,117762	11,02362205	0,860247	0,177937966	0,00249094	0,16794	92,69146	632,7987	12,78%	
9	39,65	312,65	4179,94		4,94238	11,02362205	0,868179	0,188356159	0,002529516	0,178054	58,15274	412,4355	12,36%	
10	38,2	311,2	4180,52		4,387481	11,02362205	0,892528	0,227443834	0,00193423	0,212104	11,32052	106,3265	9,62%	
11	40,65	313,65	4179,54		4,399484	11,02362205	0,892015	0,226486084	0,001509063	-0,24833	10,72222	3,983663	72,91%	

**Tabel A6 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Sabtu , 30 Mei 2015**

[illegible]

T <sub>tpa</sub> -rate (°C)	T <sub>ota</sub> -rate (°C)	I <sub>tpa</sub> -rate (mV)	I <sub>ota</sub> -rate (W/m <sup>2</sup> )
32.53	28.90	1.07	139.43
54.93	40.90	3.60	470.59
82.63	55.67	5.37	701.53
103.47	61.70	8.80	1150.33
111.07	71.23	10.80	1411.76
114.50	70.53	7.47	976.03
85.67	58.97	6.03	788.67
71.93	46.73	2.60	339.87
48.47	38.57	1.90	248.37
36.83	32.53	0.40	52.29
35.43	28.20	0.10	13.07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	Tlmp-c (°C)	Tlmp-c (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	β' (1/K)	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hcv,p-c (W/m2.K)	hr,p-c (W/m2.K)	R1 (W/m2.K)
1	107,916	30,72	303,72	16,26	23,05	0,00329	39130,811	3,209038261	26,58	1,706	5,748	0,1341655
2	364,218	47,92	320,92	17,99	25,60	0,00312	116425,52	4,108414755	27,85	2,288	6,784	0,1102297
3	542,954	69,15	342,15	20,13	28,74	0,00292	167062,95	4,466080344	29,42	2,628	8,230	0,0920985
4	890,310	82,58	355,58	21,53	30,84	0,00281	216908,06	4,749724419	30,42	2,890	9,256	0,0823333
5	1092,654	91,15	364,15	22,47	32,28	0,00275	184916,43	4,573707803	31,08	2,843	9,936	0,0782541
6	755,415	92,52	365,52	22,62	32,51	0,00274	200565,83	4,662243098	31,18	2,907	10,055	0,0771477
7	610,402	72,32	345,32	20,45	29,21	0,00290	158751,83	4,413215728	29,65	2,617	8,460	0,0902717
8	263,046	59,33	332,33	19,14	27,29	0,00301	178021,5	4,533040455	28,69	2,601	7,541	0,0985966
9	192,226	43,52	316,52	17,55	24,94	0,00316	87604,673	3,851171834	27,52	2,120	6,507	0,1159169
10	40,469	34,68	307,68	16,66	23,64	0,00325	43510,791	3,288087488	26,87	1,767	5,871	0,1291483
11	10,117	31,82	304,82	16,37	23,21	0,00328	76556,219	3,735749502	26,66	1,992	5,916	0,1281592

No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	29,95	302,95	0,003300875	16,19	22,94	1			183158934,6	85,186	26,52	2,259	292,58	5,719391284	0,1253388
2	36,45	309,45	0,00323154	16,84	23,90				701030157,0	133,251	27,00	3,598	294,03	6,121315231	0,1028913
3	43,83	316,83	0,003156234	17,58	24,99				1667562532,2	177,877	27,55	4,900	294,03	6,59161338	0,0870220
4	47,35	320,35	0,003121586	17,94	25,51				1920570180,3	186,452	27,81	5,184	295,48	6,837350172	0,0831820
5	53,37	326,37	0,003064038	18,54	26,40				2193954181,8	194,910	28,25	5,506	299,10	7,282355906	0,0781935
6	51,27	324,27	0,003083882	18,33	26,09				2437323969,1	201,866	28,10	5,672	294,03	7,09579381	0,0783248
7	45,48	318,48	0,003139882	17,75	25,24				1854440181,5	184,287	27,67	5,099	294,03	6,700830651	0,0847483
8	39,37	312,37	0,003201366	17,13	24,33				1109934908,6	155,307	27,22	4,227	294,03	6,303535335	0,0949647
9	35,28	308,28	0,003243769	16,72	23,73				526645720,7	121,133	26,91	3,260	294,03	6,049712557	0,1074140
10	32,52	305,52	0,003273144	16,44	23,32				2791366,4	21,120	26,71	0,564	294,75	5,888928892	0,1549664
11	28,60	301,60	0,00331565	16,05	22,74				71301276,2	62,200	26,42	1,643	289,70	5,617358957	0,1377300

Mencari R3			No	Mencari Tahanan Termal			No	Mencari hu									
Lins	Kins	R3		Ub	Ur	Uk		Tlimair-giga (°K)	β'	ΔTair-giga (°K)	Lc (m)	v (10^-6(m2/s)	α (10^-6(m2/s)	Ra	Nu	hfj (W/m2.K)	
0,05	0,033	1,515152	1	0,66	3,8535	4,513499719	1	302,59	0,003304784	5,88	0,0114	16,15	22,88	764,6002	1	11,02362205	
			2		4,69217	5,352169925	2	316,29	0,003161639	23,28		17,53	24,91	2450,142	1	11,02362205	
			3		5,582832	6,242832327	3	331,14	0,003019856	48,98		19,02	27,11	4168,977	1	11,02362205	
			4		6,041738	6,701737583	4	342,03	0,002923692	68,87		20,12	28,72	5064,41	1	11,02362205	
			5		6,391913	7,051913147	5	346,03	0,002888895	76,07		20,52	29,31	5311,329	1	11,02362205	
			6		6,432008	7,092008031	6	348,23	0,002871707	78,55		20,74	29,64	5333,255	1	11,02362205	
			7		5,713632	6,373631908	7	334,86	0,002986338	47,62		19,40	27,66	3852,259	1	11,02362205	
			8		5,166323	5,826323063	8	328,94	0,003040053	31,98		18,80	26,78	2806,274	1	11,02362205	
			9		4,477661	5,137660666	9	317,21	0,003152502	8,52		17,62	25,05	884,1406	1	11,02362205	
			10		3,519705	4,179705054	10	311,87	0,003206499	4,07		17,08	24,26	457,3462	1	11,02362205	
			11		3,760966	4,420965741	11	311,34	0,003211905	5,82		17,03	24,18	659,4024	1	11,02362205	

No	Mencari Q <sub>u</sub> dan η													
	T <sub>limwater</sub> (°C)	T <sub>limwater</sub> (°K)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>b</sub> (W/m.k)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	rh (kg/s)	Fr	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	η Total
1	26,65	299,65	4179,14	137280	4,410753	11,02362205	0,891533	0,225591928	0,002496159	0,213647	32,33858	124,5242	20,62%	12,33%
2	31,65	304,65	4181,14		4,803093	11,02362205	0,874405	0,197242293	0,001778685	0,182299	81,06254	448,3492	15,31%	
3	33,65	306,65	4180,34		5,187365	11,02362205	0,857073	0,174025359	0,002285495	0,163354	104,1402	685,0755	13,20%	
4	34,6	307,6	4179,96		5,374644	11,02362205	0,848468	0,164077144	0,003465978	0,157267	162,2617	1131,856	12,54%	
5	35	308	4179,8		5,513273	11,02362205	0,842043	0,157220147	0,003996937	0,151495	193,7942	1394,441	12,20%	
6	35,95	308,95	4179,42		5,528924	11,02362205	0,841315	0,156471476	0,002971962	0,148865	127,9371	970,1021	11,65%	
7	38,05	311,05	4180,58		5,241426	11,02362205	0,854598	0,171068846	0,003927227	0,164835	110,0012	777,2537	12,40%	
8	39,95	312,95	4179,82		5,011333	11,02362205	0,865072	0,184161523	0,001648484	0,168932	44,78738	337,5656	11,71%	
9	39,95	312,95	4179,82		4,705857	11,02362205	0,878709	0,203791814	0,001841604	0,188965	34,63908	244,7727	12,40%	
10	40,9	313,9	4179,44		4,244522	11,02362205	0,898582	0,239283528	0,000184031	0,125694	1,230637	57,59289	2,09%	
11	41,25	314,25	4179,3		4,365305	11,02362205	0,893474	0,2292278	0,009057455	-0,23271	11,35615	3,349735	77,22%	

**Tabel A7 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Minggu , 31 Mei 2015**

	Hari	Minggu, 31 Mei 2015													
	Variasi	β	7												
		θr	70												
No	Waktu	Data													
		Tp <sub>1</sub> (°C)	Tp <sub>2</sub> (°C)	Tp <sub>3</sub> (°C)	Tc <sub>1</sub> (°C)	Tc <sub>2</sub> (°C)	Tc <sub>3</sub> (°C)	Tf <sub>in</sub> (°C)	Tf <sub>out</sub> (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	I <sub>1</sub> (mV)	I <sub>2</sub> (mV)	I <sub>3</sub> (mV)	Ket.
1	07.00	32,5	33,7	34,7	28,4	29,2	30,1	25,5	27,1	30	0,1	1,6	0,7	0,8	cerah
2	08.00	49,4	48,2	51	37,1	36	36,7	28,8	36,6	31	0,1	2	1,9	1,9	cerah
3	09.00	63,2	63,5	63,3	42,2	47	48,4	31,4	38	31	0,2	5,6	7,3	7,8	cerah
4	10.00	96,9	105	107,3	50	64,1	67,4	32	42,2	33	0,2	6,3	8,6	8,8	cerah
5	11.00	98,7	112,3	121,3	61,1	74,3	82	34	42,2	31,5	0,2	6,7	6,9	7	cerah
6	12.00	100,4	123,2	124,9	62,4	71,5	76,2	35	44,8	33	0,6	6,6	9,7	10	cerah
7	13.00	85,6	95,8	70	57,4	60,7	66	35,9	39,5	32	0,2	5,6	7,2	7,2	cerah
8	14.00	65,6	75	81	50,1	49	54,3	36,1	38,5	32,5	0,1	5,1	5,1	5,1	cerah
9	15.00	39,7	41,4	43,4	34,5	34,8	35,6	36,8	39,3	31	0,1	0,7	0,8	1	cerah
10	16.00	40,1	40,2	40,7	31,6	30,8	31,8	36,8	37,8	29,5	0,1	0,6	0,7	0,7	cerah
11	17.00	33,5	33,6	27,8	27,6	28	36,1	37,5	39,2	28	0,3	0,1	0,1	0,1	cerah

Tprata-rata (°C)	Tcraata-rata (°C)	Irata-rata (mV)	Irata-rata (W/m2)
33,63	29,23	1,03	135,08
49,53	36,60	1,93	252,72
63,33	45,87	6,90	901,96
103,07	60,50	7,90	1032,68
110,77	72,47	6,87	897,60
116,17	70,03	8,77	1145,97
83,80	61,37	6,67	871,46
73,87	51,13	5,10	666,67
41,50	34,97	0,83	108,93
40,33	31,40	0,67	87,15
31,63	30,57	0,10	13,07

No	Mencari R1										
	S (W/m2)	Tfilm-p-c (°C)	Tfilm-p-c (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	β' (1/K°)	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hcv,p-c (W/m2.K)	hr,p-c (W/m2.K)
1	104,544	31,43	304,43	16,34	23,16	0,00328	46851,975	3,343969087	26,63	1,781	5,789
2	195,598	43,07	316,07	17,51	24,88	0,00316	115213,44	4,09859191	27,49	2,253	6,480
3	698,084	54,60	327,60	18,67	26,58	0,00305	131749,04	4,226692865	28,34	2,396	7,218
4	799,256	81,78	354,78	21,45	30,70	0,00282	223442,54	4,783429082	30,36	2,905	9,195
5	694,712	91,62	364,62	22,52	32,36	0,00274	176737,52	4,525346584	31,11	2,816	9,972
6	886,938	93,10	366,10	22,69	32,60	0,00273	208891,41	4,707402685	31,22	2,940	10,107
7	674,478	72,58	345,58	20,48	29,25	0,00289	132926,08	4,235362832	29,67	2,514	8,476
8	515,975	62,50	335,50	19,46	27,75	0,00298	153833,95	4,381013	28,93	2,535	7,756
9	84,310	38,23	311,23	17,02	24,16	0,00321	62592,722	3,570129321	27,13	1,937	6,186
10	67,448	35,87	308,87	16,78	23,81	0,00324	88751,849	3,862519988	26,96	2,082	6,046
11	10,117	31,10	304,10	16,30	23,11	0,00329	11418,219	2,304197868	26,60	1,226	5,769

No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>rcca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	29,62	302,62	0,003034511	16,15	22,89	1			67224759,9	60,991	26,49	1,616	291,14	5,688028954	0,1369130
2	33,80	306,80	0,003259452	16,57	23,51				459606462,1	115,759	26,80	3,103	292,58	5,947808307	0,1104910
3	38,43	311,43	0,00321096	17,04	24,19				1135975152,4	156,512	27,15	4,249	292,58	6,233165844	0,0954030
4	46,75	319,75	0,003127443	17,88	25,42				1856407671,7	184,353	27,76	5,118	295,48	6,796878168	0,0839294
5	51,98	324,98	0,003077081	18,40	26,20				2564967629,6	205,330	28,15	5,780	293,31	7,140823866	0,0773958
6	51,52	324,52	0,003081506	18,36	26,13				2334123979,6	198,975	28,11	5,594	295,48	7,124056379	0,0786281
7	46,68	319,68	0,003128096	17,87	25,41				1984346068,9	188,494	27,76	5,232	294,03	6,781221242	0,0832420
8	41,82	314,82	0,003176452	17,38	24,69				1352902972,5	165,900	27,40	4,545	294,75	6,465936074	0,0908182
9	32,98	305,98	0,003268152	16,49	23,39				329745104,4	103,630	26,74	2,771	292,58	5,898702479	0,1153396
10	30,45	303,45	0,003295436	16,24	23,01				164399260,8	82,172	26,56	2,182	290,42	5,730885314	0,1263745
11	29,28	302,28	0,003308155	16,12	22,84				226261378,9	91,403	26,47	2,419	288,26	5,645529316	0,1239944

Mencari R <sub>3</sub>		
Lins	Kins	R <sub>3</sub>
0,05	0,033	1,515152

No	Mencari Tahanan Termal		
	U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>L</sub>
1	0,66	3,717196	4,377195902
2		4,444653	5,104652904
3		5,014604	5,674604423
4		6,003213	6,663212684
5		6,42697	7,086970403
6		6,440042	7,100041859
7		5,739341	6,399340944
8		5,319422	5,979421922
9		4,193802	4,853802496
10		4,009691	4,669690509
11		3,746101	4,406101269

No	Mencari $h_u$								
	$T_{\text{limair-pipa}} (^{\circ}\text{K})$	$\beta'$	$\Delta T_{\text{air-pipa}} (^{\circ}\text{K})$	$L_c$ (m)	$v$ ( $10^{-6}$ )/(m <sup>2</sup> /s)	$\alpha$ ( $10^{-6}$ )/(m <sup>2</sup> /s)	Ra	Nu	$h_{f,i}$ (W/(m <sup>2</sup> .K)
1	302,97	0,003000693	7,33	0,0114	16,19	22,94	947,3473	1	11,02362205
2	314,12	0,003183531	16,83		17,31	24,59	1829,855	1	11,02362205
3	322,02	0,003105429	28,63		18,10	25,76	2771,16	1	11,02362205
4	343,08	0,002914744	65,97		20,22	28,88	4785,149	1	11,02362205
5	347,43	0,00287825	72,67		20,66	29,52	4983,804	1	11,02362205
6	351,03	0,002848732	76,27		21,02	30,05	4997,683	1	11,02362205
7	333,75	0,002996255	46,10		19,29	27,50	3786,031	1	11,02362205
8	328,58	0,003043368	36,57		18,77	26,73	3224,477	1	11,02362205
9	312,78	0,003197186	3,45		17,18	24,39	382,6885	1	11,02362205
10	311,82	0,003207013	3,03		17,08	24,25	341,3946	1	11,02362205
11	307,99	0,003246841	6,72		16,69	23,68	801,6901	1	11,02362205

No	Mencari Qu dan η															
	Tilmwater (°C)	Tilmwater (°K)	Cp (kJ/kg.K)	Cb (W/m.K)	m	hf,i (W/m2.K)	F	F'	rh (kg/s)	Fr	Qu (W)	Qloss (W)	η	Qu Total (W)	Ir Total (W)	η Total
1	26,3	299,3	4179,28	137280	4,343642	11,02362205	0,894395	0,230988811	0,004690834	0,224415	31,3669	120,5939	20,64%			
2	32,7	305,7	4180,72		4,690716	11,02362205	0,879376	0,204838493	0,001315907	0,18442	42,91123	241,4025	15,09%	37,139	193,900	
3	34,7	307,7	4179,92		4,945655	11,02362205	0,868031	0,188153964	0,005193839	0,183044	143,2849	871,421	14,12%	93,098	577,342	
4	37,1	310,1	4178,96		5,359174	11,02362205	0,849182	0,164868282	0,003356775	0,157814	143,0838	1018,681	12,32%	143,184	967,320	
5	38,1	311,1	4178,56		5,52696	11,02362205	0,841406	0,156565148	0,003328504	0,149745	114,0485	895,7554	11,29%	128,566	965,142	
6	39,9	312,9	4177,84		5,532055	11,02362205	0,841169	0,156322322	0,003597185	0,150005	147,279	1141,937	11,42%	130,664	1021,786	11,91%
7	37,7	310,7	4180,72		5,251987	11,02362205	0,854114	0,170499527	0,008130111	0,167458	122,363	858,0292	12,48%	134,821	1008,715	
8	37,3	310,3	4180,88		5,076748	11,02362205	0,86211	0,180301144	0,009849496	0,177672	98,83094	651,1691	13,18%	110,597	769,063	
9	38,05	311,05	4180,58		4,574009	11,02362205	0,884485	0,213159089	0,001143659	0,189196	11,9529	110,5961	9,75%	55,392	387,800	
10	37,3	310,3	4180,88		4,486421	11,02362205	0,888281	0,219709956	0,001830681	0,203946	7,653859	90,38536	7,81%	9,803	98,039	
11	38,35	311,35	4180,46		4,35796	11,02362205	0,893786	0,229822826	0,001286202	-0,25598	9,140758	5,565124	62,16%	8,397	50,109	

**Tabel A8 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Senin , 1 Juni 2015**

No	Waktu	Data														Ket
		T <sub>p1</sub> (°C)	T <sub>p2</sub> (°C)	T <sub>p3</sub> (°C)	T <sub>C1</sub> (°C)	T <sub>C2</sub> (°C)	T <sub>C3</sub> (°C)	T <sub>f,in</sub> (°C)	T <sub>f,out</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	I <sub>r1</sub> (mV)	I <sub>r2</sub> (mV)	I <sub>r3</sub> (mV)		
1	07.00	40,6	36,4	37,8	31	29,9	31,4	22,7	28,9	28	0,2	3,2	3,3	1,5	cerah	
2	08.00	62,3	65,3	67,5	42,3	42,6	45,2	24	32,2	30	0,5	4	4,1	4,1	cerah	
3	09.00	80,5	85,5	88,8	51,4	53	53,5	24,4	34,9	31	0,3	5,5	5,6	5,8	cerah	
4	10.00	92,4	102,4	101,7	63,2	57,7	66,4	24,9	33,8	31	0,3	6,6	9,1	9	cerah	
5	11.00	94,7	103,2	93,5	62,6	60,3	66,3	25,4	36,6	33	0,1	7,3	8,5	8,8	cerah	
6	12.00	94,9	104,2	100,3	66,5	69,6	75,2	25,8	36,8	33,5	0,1	7	9,4	9,5	cerah	
7	13.00	88,4	103,9	95,7	58	60,8	64,1	33,7	35,8	33	0,3	6	6,1	6,4	cerah	
8	14.00	76,2	84,4	83	46,3	53,8	57,6	35,1	39,5	32,5	0,2	4,8	4,9	5,1	cerah	
9	15.00	56	61,1	71,2	41,9	42,4	45,9	36,2	38,8	32	0,3	3,4	3,5	3,9	cerah	
10	16.00	33,8	33,7	35,3	32,5	29	32,6	36,7	38,1	31,5	0,2	2,2	0,3	0,4	cerah	
11	17.00	32,5	32,6	33,6	27,6	24,7	25,5	37,5	38,8	28	0,4	0,1	0,1	0,1	cerah	

T <sub>prata-rata</sub> (°C)	T <sub>crata-rata</sub> (°C)	I <sub>trata-rata</sub> (mV)	I <sub>trata-rata</sub> (W/m2)
38,27	30,77	2,67	348,58
65,03	43,37	4,07	531,59
84,93	52,63	5,63	736,38
98,83	62,43	8,23	1076,25
97,13	63,07	8,20	1071,90
99,80	70,43	8,63	1128,54
96,00	60,97	6,17	806,10
81,20	52,57	4,93	644,88
62,77	43,40	3,60	470,59
34,27	31,37	0,97	126,36
32,90	25,93	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	T <sub>limp-c</sub> (°C)	T <sub>limp-c</sub> (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	β' (1/k°)	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	h <sub>cv,p-c</sub> (W/m2.K)	h <sub>r,p-c</sub> (W/m2.K)	R <sub>1</sub> (W/m2.K)
1	269,791	34,52	307,52	16,65	23,61	0,00325	76087,93	3,710541465	26,86	1,993	5,967	0,1256277
2	411,431	54,20	327,20	18,63	26,53	0,00306	164348,43	4,427757691	28,31	2,507	7,195	0,1030741
3	569,934	68,78	341,78	20,09	28,68	0,00293	201065,92	4,642911506	29,39	2,729	8,209	0,0914194
4	832,980	80,63	353,63	21,32	30,51	0,00283	194050,02	4,604061525	30,28	2,788	9,097	0,0841412
5	829,607	80,10	353,10	21,26	30,42	0,00283	182923,41	4,540388187	30,24	2,746	9,053	0,0847563
6	873,448	85,12	358,12	21,81	31,26	0,00279	147465,49	4,317314619	30,62	2,644	9,438	0,0827688
7	623,892	78,48	351,48	21,08	30,15	0,00285	192287,13	4,594146167	30,11	2,767	8,931	0,0854893
8	499,113	66,88	339,88	19,90	28,40	0,00294	182750,45	4,539377301	29,25	2,656	8,069	0,0932389
9	364,218	53,08	326,08	18,51	26,36	0,00307	149229,45	4,329260217	28,23	2,444	7,120	0,1045599
10	97,799	32,82	305,82	16,48	23,36	0,00327	30213,244	2,996114534	26,73	1,602	5,868	0,1338760
11	10,117	29,42	302,42	16,13	22,86	0,00331	76603,42	3,71622766	26,48	1,968	5,675	0,1308394

No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>rca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	29,38	302,38	0,003307061	16,13	22,85	1			243501616,0	93,668	26,48	2,480	288,26	5,651351445	0,1229809
2	36,68	309,68	0,003229105	16,86	23,93				1049084444,0	152,415	27,02	4,118	291,14	6,112617971	0,0977484
3	41,82	314,82	0,003176452	17,38	24,69				1570722771,3	174,364	27,40	4,777	292,58	6,448906058	0,0890800
4	46,72	319,72	0,003127769	17,87	25,42				2122961561,6	192,784	27,76	5,352	292,58	6,772589687	0,0824804
5	48,03	321,03	0,003114941	18,01	25,61				1992180674,0	188,742	27,86	5,258	295,48	6,883691454	0,0823631
6	51,97	324,97	0,003077239	18,40	26,20				2312983325,1	198,373	28,15	5,584	296,20	7,161087701	0,0784634
7	46,98	319,98	0,003125163	17,90	25,46				1881504054,2	185,180	27,78	5,144	295,48	6,812593109	0,0836355
8	42,53	315,53	0,003169237	17,45	24,80				1441466438,3	169,444	27,45	4,651	294,75	6,512354492	0,0895776
9	37,70	310,70	0,003218539	16,97	24,08				880888593,3	143,791	27,09	3,896	294,03	6,198845255	0,0990648
10	31,43	304,43	0,003284791	16,34	23,16				11358054,6	33,718	26,63	0,898	293,31	5,812485053	0,1490241
11	26,97	299,97	0,003333704	15,89	22,50				189115034,9	86,099	26,30	2,264	288,26	5,512106093	0,1285960

Mencari R3			No	Mencari Tahanan Termal		No	Mencari hu									
Lins	Kins	R3		Ub	Ut		Tlmair-pipa (°K)	β'	ΔTair-pipa (°K)	Lc (m)	v (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	
0,05	0,033	1,515152	1	0,66	4,022386	4,682386414	1	305,03	0,00327833	12,47	0,0114	16,40	23,24	1558,515	1	11,02362205
			2		4,979523	5,639522661	2	319,57	0,003129238	36,93		17,86	25,40	3703,692	1	11,02362205
			3		5,540185	6,200185268	3	330,29	0,003027627	55,28		18,94	26,98	4760,672	1	11,02362205
			4		6,001623	6,661622808	4	337,09	0,002966552	69,48		19,62	27,99	5454,935	1	11,02362205
			5		5,983748	6,643748442	5	337,07	0,002966772	66,13		19,62	27,99	5193,673	1	11,02362205
			6		6,202234	6,862233509	6	338,55	0,002953773	68,50		19,77	28,21	5274,162	1	11,02362205
			7		5,912796	6,572796401	7	338,38	0,002955301	61,25		19,75	28,18	4726,933	1	11,02362205
			8		5,469964	6,129963666	8	332,25	0,003009782	43,90		19,13	27,27	3679,904	1	11,02362205
			9		4,910995	5,570994618	9	323,13	0,003094698	25,27		18,22	25,92	2406,414	1	11,02362205
			10		3,534817	4,194816682	10	308,83	0,003237992	3,13		16,78	23,81	369,1464	1	11,02362205
			11		3,854523	4,514523468	11	308,53	0,003241228	5,25		16,75	23,76	621,4727	1	11,02362205

No	Mencari Qu dan η														
	T <sub>limwater</sub> (°C)	T <sub>limwater</sub> (°K)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>b</sub> (W/m.K)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	m (kg/s)	Fr	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	Qu Total (W)	η Total
1	28	301	4178,6	137280	4,354459	11,02362205	0,893935	0,230107207	0,003556938	0,221513	50,53427	214,1716	19,09%	13,14%	
2	33,1	306,1	4180,56		4,949736	11,02362205	0,867848	0,18790241	0,001693428	0,172822	59,46763	371,9049	13,79%		
3	35,05	308,05	4179,78		5,246377	11,02362205	0,854371	0,170801624	0,002297368	0,160339	75,85969	527,0815	12,58%		
4	36,05	309,05	4179,38		5,421788	11,02362205	0,846287	0,161698872	0,002774566	0,15335	98,5657	724,9637	11,97%		
5	35,75	308,75	4179,5		5,553044	11,02362205	0,840192	0,155327484	0,005212657	0,150955	163,3972	1209,152	11,90%		
6	37,55	310,55	4178,78		5,52274	11,02362205	0,841602	0,156766705	0,005596581	0,152657	152,0147	1127,397	11,88%		
7	38,65	311,65	4180,34		5,469713	11,02362205	0,844066	0,159330588	0,003832121	0,153301	136,1663	1025,598	11,72%		
8	37,5	310,5	4180,8		5,190587	11,02362205	0,856926	0,173847175	0,005771227	0,169517	130,2931	874,6089	12,97%		
9	36,7	309,7	4181,12		4,771134	11,02362205	0,875823	0,199362522	0,013785214	0,197328	57,63763	344,3232	14,34%		
10	37,8	310,8	4180,68		4,572404	11,02362205	0,884555	0,213276755	0,00558991	0,208053	37,3914	237,1184	13,62%		
11	37,65	310,65	4180,74		4,228183	11,02362205	0,899267	0,240689217	0,002572929	-0,2537	7,529722	7,17616	51,20%		

**Tabel A9** Hasil Perhitungan Pengambilan Data Selasa , 2 Juni 2015

	Hari	Selasa, 2 Juni 2015														
Variasi		$\beta$	13													
		Br	60													
		Data														
No	Waktu	Tp <sub>1</sub> (°C)	Tp <sub>2</sub> (°C)	Tp <sub>3</sub> (°C)	Tc <sub>1</sub> (°C)	Tc <sub>2</sub> (°C)	Tc <sub>3</sub> (°C)	Tf <sub>in</sub> (°C)	Tf <sub>out</sub> (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	I <sub>s</sub> (mV)	I <sub>2</sub> (mV)	I <sub>3</sub> (mV)	Ket	
1	07.00	40	36,1	37,2	32	29,5	30,5	26,3	29,7	31	0,1	2,3	1,5	1,6	cerah	
2	08.00	57,4	59	60	46,3	45,5	48,5	28,9	37,3	30,5	0,1	3,5	3,5	1,8	cerah	
3	09.00	86	89,5	93,9	51,7	51,9	54,8	31,1	39	32	0,1	3,5	3,9	4,9	cerah	
4	10.00	97,6	108,3	109,6	57,6	57,1	61,4	31,8	40,3	32,5	0,1	4,9	5,4	6,5	cerah	
5	11.00	99,2	113,1	117,4	65,5	69	73,1	32	39,5	34,5	0,1	8,5	9,7	9,8	cerah	
6	12.00	93,8	106,5	115,8	66,6	71	73,3	34,3	40,8	35	0,1	8,3	8,6	9,2	cerah	
7	13.00	93,3	103,7	101,5	65	64,8	69,3	34,4	42,9	33	0,3	7,3	7,7	8,7	cerah	
8	14.00	87,9	95,4	94,3	46,5	47,2	51,2	34,8	40,2	33,5	0,2	6,5	6,6	7,4	cerah	
9	15.00	42,8	49	52,7	44,5	43,2	40,1	36,2	37,2	33	0,1	4,1	1,6	2,5	cerah	
10	16.00	40	44,2	46,3	33,7	32,7	34,3	37	38,6	31	0,2	1,5	1,6	2,5	cerah	
11	17.00	34,4	34,4	34,8	29,1	27,8	28,8	37,3	38	28,5	0,4	0,1	0,1	0,1	cerah	

Tprata-rata (°C)	Tcrata-rata (°C)	Iprata-rata (mV)	Itrata-rata(W/m2)
37,77	30,67	1,80	235,29
58,80	46,77	2,93	383,44
89,80	52,80	4,10	535,95
105,17	58,70	5,60	732,03
112,20	69,20	9,33	1220,04
105,37	70,30	8,70	1137,25
99,50	66,37	7,90	1032,68
92,53	48,30	6,83	893,25
48,17	42,60	2,73	357,30
43,50	33,57	1,87	244,01
34,53	28,57	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	TTemp-c (°C)	TTemp-c (°K)	v (10 <sup>6</sup> -6)/(m2/s)	α (10 <sup>6</sup> -6)/(m2/s)	β' (1/K)	Ra	Nu	ka(10 <sup>6</sup> -3)/(W/m.K)	h <sub>cv,ρ-c</sub> (W/m2.K)	h <sub>r,ρ-c</sub> (W/m2.K)	R1 (W/m2.K)
1	182,109	34,22	307,22	16,62	23,57	0,00326	72367,279	3,668597284	26,83	1,969	5,949	0,1262892
2	296,770	52,78	325,78	18,48	26,32	0,00307	93116,36	3,884691108	28,21	2,192	7,096	0,1076693
3	414,804	71,30	344,30	20,35	29,06	0,00290	222900,22	4,758091057	29,58	2,815	8,397	0,0891886
4	566,561	81,93	354,93	21,42	39,13	0,00282	191572,39	4,590108042	34,17	3,137	9,213	0,0809720
5	944,269	90,70	363,70	22,62	32,20	0,00275	200774,52	4,641316892	31,04	2,881	9,904	0,0782112
6	880,193	87,83	360,83	22,11	31,72	0,00277	169924,01	4,4624658	30,82	2,751	9,661	0,0805663
7	799,256	82,93	355,93	21,52	39,30	0,00281	135001,54	4,229870129	34,25	2,898	9,271	0,0821784
8	691,339	70,42	343,42	20,26	28,93	0,00291	269546,35	4,980236387	29,51	2,940	8,343	0,0886281
9	276,536	45,38	318,38	17,74	25,22	0,00314	47921,254	3,339952678	27,66	1,848	6,622	0,1180722
10	188,854	38,53	311,53	17,05	24,21	0,00321	94732,478	3,899937542	27,15	2,118	6,205	0,1201565
11	10,117	31,55	304,55	16,35	23,17	0,00328	63416,896	3,560336323	26,64	1,899	5,796	0,129998



No	Mencari R <sub>2</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/°K)	v (10 <sup>-6</sup> )/(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )/(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )/(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	Tsky (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	30,83	303,83	0,003291278	16,28	38,98	1			16963154,1	38,541	34,07	1,313	292,58	5,771109549	0,1411602
2	38,63	311,63	0,003208899	17,06	40,37				743481262,8	135,888	34,61	4,704	291,86	6,240081191	0,0913763
3	42,40	315,40	0,003170577	17,44	50,13				740082353,6	135,681	38,35	5,203	294,03	6,497969879	0,0854632
4	45,60	318,60	0,003138732	17,76	50,73				895270132,5	144,569	38,56	5,575	294,75	6,714205864	0,0813703
5	51,85	324,85	0,003078344	18,39	51,92				1097460193,3	154,723	38,99	6,033	297,65	7,164076809	0,0757766
6	52,65	325,65	0,003070782	18,47	52,07				1105604495,4	155,105	39,04	6,056	298,38	7,22598137	0,0752904
7	49,68	322,68	0,00309013	18,17	51,51				1083711737,2	154,074	38,84	5,985	295,48	6,996683126	0,0770339
8	40,90	313,90	0,003185728	17,29	49,84				536783755,9	121,906	38,25	4,662	296,20	6,418769617	0,0902439
9	37,80	310,80	0,003217503	16,98	40,22				443755351,5	114,412	34,56	3,954	295,48	6,216977783	0,0983225
10	32,28	305,28	0,003275646	16,42	39,24				127993724,1	75,594	34,17	2,583	292,58	5,856893019	0,1184844
11	28,53	301,53	0,003316383	16,04	38,57				3504614,4	22,784	33,91	0,773	288,98	5,607735012	0,1567326

Mencari R <sub>3</sub>		
L <sub>ins</sub>	K <sub>ins</sub>	R <sub>3</sub>
0,05	0,033	1,515152

No	Mencari Tahanan Termal		
	U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>t</sub>
1	0,66	3,739024	4,399024273
2		5,023973	5,68973257
3		5,725678	6,38567605
4		6,159823	6,819822579
5		6,494022	7,154021996
6		6,416151	7,076151321
7		6,28092	6,940920403
8		5,590589	6,250589184
9		4,621184	5,281183516
10		4,190396	4,85039562
11		3,487587	4,147587098

No	Mencari h <sub>tu</sub>									
	T <sub>ilmair-pipa</sub> (°K)	β'	ΔT <sub>air-pipa</sub> (°K)	L <sub>c</sub> (m)	v (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )/(m2/s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	
1	30,88	0,00326922	9,77	0,0114	16,48	39,35	715,5724	1	11,02362205	
2	318,95	0,003135288	25,70		17,80	41,67	1579,09	1	11,02362205	
3	335,43	0,002981292	54,75		19,45	44,61	2733,877	1	11,02362205	
4	343,61	0,00291029	69,12		20,28	46,06	3130,066	1	11,02362205	
5	346,98	0,002882052	76,45		20,62	46,66	3328,94	1	11,02362205	
6	344,46	0,002903109	67,82		20,36	46,21	3040,762	1	11,02362205	
7	342,08	0,002923336	60,85		20,12	45,79	2805,893	1	11,02362205	
8	338,02	0,002958434	55,03		19,71	45,07	2663,347	1	11,02362205	
9	315,43	0,003170242	11,47		17,44	41,05	737,937	1	11,02362205	
10	313,65	0,003188267	5,70		17,26	40,73	375,6478	1	11,02362205	
11	309,09	0,003235286	3,12		16,80	39,92	218,4669	1	11,02362205	

No	Mencari Qu dan η															
	Tilmwater (°C)	Tilmwater (°K)	Cp (kJ/kg.K)	Cb (W/m.K)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	ṁ (kg/s)	F <sub>n</sub>	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	Qu Total (W)	Ir Total (W)	η Total
1	28	301	4178,6	137280	4,354459	11,02362205	0,893935	0,230107207	0,003556938	0,221513	50,53427	214,1716	19,09%			
2	33,1	306,1	4180,56		4,949736	11,02362205	0,867848	0,18790241	0,001693428	0,172822	59,46763	371,9049	13,79%	55,001	309,368	
3	35,05	308,05	4179,78		5,246377	11,02362205	0,854371	0,170801624	0,002297368	0,160339	75,85969	527,0815	12,58%	67,664	459,695	
4	36,05	309,05	4179,38		5,421788	11,02362205	0,846287	0,161698872	0,002774566	0,15335	98,5657	724,9637	11,97%	87,213	633,987	
5	35,75	308,75	4179,5		5,553044	11,02362205	0,840192	0,155327484	0,005212657	0,150955	163,3972	1209,152	11,90%	130,981	976,035	
6	37,55	310,55	4178,78		5,52274	11,02362205	0,841602	0,156766705	0,005596581	0,152657	152,0147	1127,397	11,88%	157,706	1178,649	13,14%
7	38,65	311,65	4180,34		5,469713	11,02362205	0,844066	0,159330588	0,003832121	0,153301	136,1663	1025,598	11,72%	144,091	1084,967	
8	37,5	310,5	4180,8		5,190587	11,02362205	0,856926	0,173847175	0,005771227	0,169517	130,2931	874,6089	12,97%	133,230	962,963	
9	36,7	309,7	4181,12		4,771134	11,02362205	0,875823	0,199362522	0,013785214	0,197328	57,63763	344,3232	14,34%	93,965	625,272	
10	37,8	310,8	4180,68		4,572404	11,02362205	0,884555	0,213276755	0,00558991	0,208053	37,3914	237,1184	13,62%	47,515	300,654	
11	37,65	310,65	4180,74		4,228183	11,02362205	0,899267	0,240689217	0,002572929	-0,2537	7,529722	7,17616	51,20%	22,461	128,540	

**Tabel A 10 Hasil Perhitungan Pengambilan Data Rabu , 3 Juni 2015**

No	Waktu	Data													Ket	Tprata-rata (°C)	Tcrata-rata (°C)	Itrata-rata (mV)	Itrata-rata(W/m2)
		Tp <sub>1</sub> (°C)	Tp <sub>2</sub> (°C)	Tp <sub>3</sub> (°C)	Tc <sub>1</sub> (°C)	Tc <sub>2</sub> (°C)	Tc <sub>3</sub> (°C)	Tf <sub>in</sub> (°C)	Tf <sub>out</sub> (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	I <sub>r1</sub> (mV)	I <sub>r2</sub> (mV)	I <sub>r3</sub> (mV)					
1	07.00	37,4	39	39,7	30,9	30,9	31,7	29,4	33,3	31,5	0,1	2	1	1,2	cerah	38,70	31,17	1,40	183,01
2	08.00	71,7	57,9	61,5	46,5	41	44,6	33,8	40,7	32	0,1	4,6	4,9	4,7	cerah	63,70	44,03	4,73	618,74
3	09.00	91,4	96,7	101	56,4	58,9	62,1	34,2	44,2	35	0,1	5,7	5,9	7,6	cerah	96,37	59,13	6,40	836,60
4	10.00	107,5	108,7	110,2	63,3	69,1	74,7	34,8	46,7	37	0,1	6,7	9,6	9,7	cerah	108,80	69,03	8,67	1132,90
5	11.00	112,1	112,9	114,5	67,7	80,1	87	34,8	47,8	38,5	0,1	7,1	7,2	7,3	cerah	113,17	78,27	7,20	941,18
6	12.00	109,2	110,3	109,8	70,6	77,3	86,1	35,4	44,8	39	0,3	6,7	10	10,1	cerah	109,77	78,00	8,93	1167,76
7	13.00	103,4	103,8	104,5	66,8	69,5	74,2	35,5	43,4	34	0,2	6,3	8,4	8,3	cerah	103,90	70,17	7,67	1002,18
8	14.00	66	70,7	49,6	49,6	50,9	54,9	36,5	42,4	33	0,2	4,3	4,4	4,7	cerah	62,10	51,80	4,47	583,88
9	15.00	38,2	39,8	43,6	43,6	44	45,6	37,8	39,8	32	0,2	0,6	0,6	0,8	cerah	40,53	44,40	0,67	87,15
10	16.00	34,6	34	31,6	31,6	30,7	31,6	38,3	39	31	0,3	0,4	0,4	0,5	cerah	33,40	31,30	0,43	56,64
11	17.00	32,8	33	29,1	29,1	28,6	28,6	38,5	38,8	29	0,4	0,1	0,1	0,1	cerah	31,63	28,77	0,10	13,07

No	Mencari R1											
	S (W/m2)	T <sub>himp-c</sub> (°C)	T <sub>himp-c</sub> (°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m2/s)	β' (1/K')	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	h <sub>c,v,p-c</sub> (W/m2.K)	h <sub>r,p-c</sub> (W/m2.K)	R <sub>1</sub> (W/m2.K)
1	141,640	34,93	307,93	16,69	23,67	0,00325	75932,674	3,708823104	26,89	1,994	5,991	0,1252241
2	478,879	53,87	326,87	18,59	26,48	0,00306	149878,01	4,333627097	28,29	2,452	7,171	0,1039179
3	647,498	77,75	350,75	26,41	30,03	0,00285	164152,45	4,426522771	30,06	2,661	8,878	0,0866652
4	876,821	88,92	361,92	26,41	31,90	0,00276	159920,2	4,399596039	30,91	2,719	9,755	0,0801649
5	728,436	95,72	368,72	22,98	33,04	0,00271	152882,08	4,353681156	31,42	2,736	10,307	0,0766686
6	903,800	93,88	366,88	22,77	32,74	0,00273	142415,24	4,282542808	31,28	2,679	10,150	0,0779434
7	775,649	87,03	360,03	26,41	31,59	0,00278	137733,01	4,249511409	30,76	2,615	9,595	0,0819002
8	451,900	56,95	329,95	18,90	26,93	0,00303	75189,948	3,700565184	28,52	2,111	7,371	0,1054664
9	67,448	42,47	315,47	17,45	24,79	0,00317	-34754,22	-0,21713172	27,44	-0,119	6,441	0,1581789
10	43,841	32,35	305,35	16,43	23,29	0,00327	22039,772	2,766295528	26,70	1,477	5,841	0,1366505
11	10,117	30,20	303,20	16,21	22,97	0,00330	31128,881	3,017933681	26,54	1,602	5,719	0,1366076

No	Mencari R <sub>z</sub>														
	T <sub>limca</sub> (°C)	T <sub>limca</sub> (°K)	β' (1/°K)	v (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )(m <sup>2</sup> /s)	L (m)	Re	Gr	Ra	Nu	ka(10 <sup>-3</sup> )(W/m.K)	hw (W/m <sup>2</sup> .K)	T <sub>sky</sub> (°K)	h <sub>r,ca</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>z</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)
1	31,33	304,33	0,003285871	16,33	39,07	1			16844649,5	38,451	34,10	1,311	293,31	5,806581916	0,1404908
2	38,02	311,02	0,003215262	17,00	40,26				554602982,0	123,240	34,57	4,261	294,03	6,218620283	0,0954274
3	47,07	320,07	0,003124349	17,91	41,87				986414224,9	149,318	35,20	5,257	298,38	6,841379972	0,0826579
4	53,02	326,02	0,003067328	18,51	42,93				1213160196,6	159,979	35,62	5,699	301,29	7,27522662	0,0770780
5	58,38	331,38	0,003017653	19,05	43,89				1408312131,5	168,135	36,00	6,052	303,48	7,679735772	0,0728223
6	58,50	331,50	0,003016591	19,06	43,91				1379172172,7	166,967	36,01	6,012	304,21	7,694345167	0,0729608
7	52,08	325,08	0,003076134	18,41	42,76				1385997376,8	167,242	35,56	5,946	296,92	7,174825058	0,0762122
8	42,40	315,40	0,003170577	17,44	41,04				816991545,9	140,227	34,88	4,891	295,48	6,509496808	0,0877168
9	38,20	311,20	0,003213368	17,02	40,29				570084430,9	124,376	34,58	4,301	294,03	6,230093829	0,0949530
10	31,15	304,15	0,003287851	16,31	39,04				15199173,5	37,156	34,09	1,267	292,58	5,789749546	0,1417149
11	28,88	301,88	0,003312538	16,08	38,64				12205387,4	34,536	33,93	1,172	289,70	5,633746275	0,1469373

Mencari R <sub>3</sub>			No	Mencari Tahanan Termal			No	Mencari h <sub>ti</sub>									
L <sub>ins</sub>	K <sub>ins</sub>	R <sub>3</sub>		U <sub>b</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>		T <sub>limair-pipa</sub> (°K)	β'	ΔT <sub>air-pipa</sub> (°K)	L <sub>c</sub> (m)	v (10 <sup>-6</sup> )/(m <sup>2</sup> /s)	α (10 <sup>-6</sup> )/(m <sup>2</sup> /s)	Ra	Nu	h <sub>f,i</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	
0,05	0,033	1,515152	1	3,763432	4,42343175		1	308,03	0,00324649	7,35	0,0114	16,70	39,73	522,8013	1	11,02362205	
			2	5,016422	5,67642218		2	323,48	0,003091429	26,45		18,25	42,48	1532,845	1	11,02362205	
			3	5,90587	6,565869523		3	340,78	0,002934416	57,17		19,99	45,56	2676,678	1	11,02362205	
			4	6,359591	7,019590761		4	347,78	0,002875422	68,05		20,70	46,80	2935,898	1	11,02362205	
			5	6,68937	7,349369557		5	350,23	0,002855239	71,87		20,94	47,24	3014,261	1	11,02362205	
			6	6,626721	7,28672095		6	347,93	0,002874114	69,67		20,71	46,83	3000,161	1	11,02362205	
			7	6,324612	6,984612304		7	344,68	0,002901284	64,45		20,38	46,25	2882,497	1	11,02362205	
			8	5,176432	5,836431715		8	323,78	0,003088565	22,65		18,28	42,53	1307,6	1	11,02362205	
			9	3,950509	4,610508614		9	312,67	0,003198294	1,73		17,16	40,55	115,7492	1	11,02362205	
			10	3,592401	4,252401247		10	309,03	0,003235984	5,25		16,80	39,91	368,3416	1	11,02362205	
			11	3,526779	4,186778551		11	308,14	0,003245261	7,02		16,71	39,75	498,2916	1	11,02362205	

No	Mencari Qu dan η															
	T <sub>limwater</sub> (°C)	T <sub>limwater</sub> (°K)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>b</sub> (W/m.K)	m	h <sub>f,i</sub> (W/m2.K)	F	F'	rh (kg/s)	Fr	Q <sub>u</sub> (W)	Q <sub>loss</sub> (W)	η	Q <sub>u</sub> Total (W)	I <sub>r</sub> Total (W)	η Total
1	31,35	304,35	4177,26	137280	4,366522	11,02362205	0,893422	0,229129384	0,002248852	0,21577	36,63676	169,2456	17,79%	65,805	400,871	12,42%
2	37,25	310,25	4178,9		4,946447	11,02362205	0,867996	0,188105104	0,003293731	0,180131	94,97279	601,1056	13,64%	65,805	400,871	
3	39,2	312,2	4178,12		5,319884	11,02362205	0,850993	0,166901764	0,002783319	0,158359	116,2904	824,8861	12,36%	105,632	727,669	
4	40,75	313,75	4177,5		5,500623	11,02362205	0,842631	0,15782893	0,003035283	0,15032	150,8908	1123,619	11,84%	133,591	984,749	
5	41,3	314,3	4177,28		5,628349	11,02362205	0,836679	0,151830896	0,00222311	0,142016	120,7252	938,0983	11,40%	135,808	1037,037	
6	40,1	313,1	4177,76		5,604309	11,02362205	0,837801	0,152949663	0,003922652	0,147231	154,0463	1159,679	11,73%	137,386	1054,466	
7	39,45	312,45	4180,02		5,486901	11,02362205	0,843268	0,158493083	0,003980757	0,152707	131,4532	995,9978	11,66%	142,750	1084,967	
8	39,45	312,45	4180,02		5,015679	11,02362205	0,864876	0,183901536	0,003473162	0,176461	85,65552	571,2072	13,04%	108,554	793,028	
9	38,8	311,8	4180,28		4,457901	11,02362205	0,88951	0,221902185	0,001071921	0,195694	8,96186	89,07736	9,14%	47,309	335,512	
10	38,65	311,65	4180,34		4,281275	11,02362205	0,897035	0,236161791	0,00102093	0,207488	2,987483	60,73801	4,69%	5,975	71,895	
11	38,65	311,65	4180,34		4,248112	11,02362205	0,898431	0,238976153	0,006491471	-0,244	8,140967	6,564916	55,36%	5,564	34,858	

**Tabel A11. Nilai Konstanta (C) untuk masing – masing Variasi**

Variasi		$I_T$	C
$\beta = 0^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6429,19	1,24
	$\theta_r = 60^\circ$	6063,18	1,17
	$\theta_r = 70^\circ$	6228,76	1,20
$\beta = 7^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6274,51	1,21
	$\theta_r = 60^\circ$	6215,69	1,20
	$\theta_r = 70^\circ$	6039,22	1,16
$\beta = 13^\circ$	$\theta_r = 50^\circ$	6773,42	1,30
	$\theta_r = 60^\circ$	6660,13	1,28
	$\theta_r = 70^\circ$	6525,05	1,25
IT rata-rata		5200,83	

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Wildan Farizky Arsy lahir di Surabaya, 19 Mei 1993. Merupakan anak pertama dari 3 bersaudara pasangan Ari Wibowo dan Lusi Nur Handayani. Pendidikan formal yang ditempuh adalah SD Negeri Pucang 2 (1999-2001), SD Islam Muhammadiyah 1 (2001- 2003), SD Islam Hidayatullah (2003-2005), SMP Al-Falah Deltasari (2005-2008), dan SMA Negeri 3 Sidoarjo (2008-2011). Saat lulus SMA , penulis berminat dalam bidang konversi energi. Oleh karena itu, penulis memilih untuk melanjutkan studinya di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terdaftar dengan NRP 2111100152.

Selama masa kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin dalam Departemen Hubungan Luar sebagai Sekretaris. Penulis juga aktif sebagai Asisten Praktikum Perpindahan Panas dan Massa, Grader dalam mata kuliah Elemen Mesin, serta aktif dalam beberapa kepanitiaan. Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi sebagai bahasan Tugas Akhir yang memiliki topik Energi Surya Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Sc., Ph.D.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, dapat melalui email [wildanfarizky@gmail.com](mailto:wildanfarizky@gmail.com).